

INFLUÊNCIA DO FACTOR SOLAR DOS ENVIDRAÇADOS NO DESEMPENHO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS NO VERÃO

Exigências Regulamentares

JORGE MIGUEL COELHO ANTUNES REPOLHO DE SEQUEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Corvacho

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais, minha Esposa, meus Filhos e minha Irmã

De modo suave você pode sacudir o mundo

“Mahatma” Gandhi

AGRADECIMENTOS

Aos meus Pais pela constante presença na minha vida e pelo sempre comovente apoio incondicional.

À minha Esposa pela sua ajuda e compreensão ao longo deste processo e da nossa caminhada.

Aos meus Filhos pela enorme fonte de inspiração que representam.

À minha Irmã pelo carinho com que me trata, fazendo-me sentir sempre especial.

À minha orientadora pela forma irrepreensível com que me acompanhou no decorrer da elaboração deste projecto, com uma afabilidade, compreensão e disponibilidade verdadeiramente notável, à qual manifesto a minha profunda gratidão.

A todos que duma forma mais ou menos directa participaram neste projecto.

A todos os que me são queridos mas que já não se encontram entre nós.

RESUMO

A consciência ambiental associada à gestão dos recursos energéticos é um assunto de relevância mundial, perante a evidente escassez dos recursos naturais, associados aos efeitos nocivos da massificação da sua utilização. É imperativo a alteração de comportamentos de forma a controlar e diminuir o processo de desequilíbrio ecológico, traduzindo-se nos últimos anos essa vontade em políticas que promovam e implementem a optimização dos custos energéticos e utilização de energias novas e renováveis.

Os vãos envidraçados assumem-se na composição dos edifícios como uma parte integrante deste processo de rigor na gestão de recursos, dada a preponderância que possuem na troca de fluxos de calor entre interior e exterior. É de vital importância que esta situação aconteça salvaguardando o conforto térmico regularmente imposto, sempre com o máximo rigor ao nível dos gastos energéticos associados.

O presente trabalho tem por objectivo estudar o factor solar do envidraçado na estação de Verão, determinando inicialmente o valor máximo admissível que verifique o cumprimento das imposições regulamentares do RCCTE, por verificação das necessidades de arrefecimento máximas, e posteriormente analisando o nível de conforto que os valores máximos obtidos proporcionam no interior da habitação, através do uso do programa de cálculo Lesocool. Por forma a representar o maior universo de cenários existentes no nosso parque habitacional, foram alteradas as características consideradas relevantes no comportamento térmico duma habitação, como a zona climática, a inércia térmica, a relação de área envidraçada e área útil de pavimento, a orientação solar e o factor solar do vidro sem protecção.

Como intuito final da tese, é indicada uma proposta de novos valores regulamentares para o factor solar máximo admissível dos vãos envidraçados.

PALAVRAS-CHAVE: Vãos envidraçados, Factor solar, Ganhos solares, Verão, Conforto térmico.

ABSTRACT

The environmental awareness associated to energy resources management is a matter of world relevance, for the obvious scarcity of natural resources and for the harmful effects of their massive use. The change of behaviors is imperative in order to control and diminish the ecological impact. Translating that will, in the last years, new policies promoted and implemented the optimization of the energy costs and the use of renewable and new energies.

Glazing represents, as an element of the building envelope, an important part of this essential challenge due to its preponderance in heat exchanges between indoors and outdoors. It is of vital importance that this situation occurs safeguarding the regulatory requirements of thermal comfort, always with the maximum accuracy level regarding the associated energy consumption.

The purpose of the present essay is to study the solar factor of windows in summer, determining initially the maximum allowed value that fulfills the regulatory requirements of the RCCTE, complying with the maximum of cooling energy needs and subsequently analyzing the level of comfort that the maximum values provide indoors, using the software Lesocool.

In order to represent the largest universe of possible settings in our housing stock, variations in the main characteristics influencing thermal behavior were considered, such as the climatic zone, the thermal inertia, the glazing/floor area ratio, the orientation and the solar factor of the glass itself.

KEYWORDS: Glazing, Solar factor, Solar gains, Summer, Thermal comfort.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ÂMBITO DO TEMA	1
1.2. OBJECTIVO DO TRABALHO	2
1.3. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. GANHOS SOLARES ATRAVÉS DE VÃOS ENVIDRAÇADOS	4
2.2.1. PRINCÍPIO TEÓRICO	4
2.2.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO DO RCCTE	5
2.3. FACTOR SOLAR	7
2.3.1. DEFINIÇÃO	7
2.3.2. VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR DO RCCTE	7
3. CASO DE ESTUDO	
FACTOR SOLAR E EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES	11
3.1. ÂMBITO	11
3.2. CASO DE ESTUDO	11
3.2.1. DEFINIÇÃO	11
3.2.2. CARACTERIZAÇÃO	11
3.2.3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS BASE	12
3.3. CENÁRIOS	13
3.3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS	13
3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS	14
3.3.2.1. Zona Climática	14
3.3.2.2. Inércia Térmica	15
3.3.2.3. Relação entre a área de envidraçado e a área útil total de pavimento	16
3.3.2.4. Orientação dos Vãos Envidraçados	16

3.3.2.5. Factor solar do vidro	18
3.4. SIMULAÇÕES	18
3.4.1. ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO - V_1	18
3.4.1.1. Inércia Forte.....	18
3.4.1.2. Inércia Média	20
3.4.1.3. Inércia Fraca.....	21
3.4.1.4. Resumo	22
3.4.2. ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO – V_2	22
3.4.2.1. Inércia Forte.....	22
3.4.2.2. Inércia Média	24
3.4.2.3. Inércia Fraca.....	25
3.4.2.4. Resumo	26
3.4.3. ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO – V_3	26
3.4.3.1. Inércia Forte.....	26
3.4.3.3. Inércia Fraca.....	29
3.4.3.4. Resumo	30
3.5. NOTAS FINAIS	30

4. CASO DE ESTUDO

FACTOR SOLAR E CONFORTO TÉRMICO

4.1. ÂMBITO	33
4.2. CASO DE ESTUDO	33
4.2.1. DEFINIÇÃO.....	33
4.2.2. CARACTERIZAÇÃO	34
4.3. CENÁRIOS.....	34
4.3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS	34
4.3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS	35
4.3.2.1. Zona Climática.....	35
4.3.2.2. Inércia Térmica	35
4.3.2.3. Relação entre a área de envidraçado e a área útil de pavimento da sala	36
4.3.2.4. Orientação dos Vãos Envidraçados da Sala	36
4.3.2.5. Factor solar do vidro	39

4.4. MODELO DE CÁLCULO AUTOMÁTICO – PROGRAMA LESOCOOL	39
4.4.1. INTRODUÇÃO	39
4.4.2. CARACTERIZAÇÃO.....	40
4.4.2.1. Ventilação.....	40
4.4.2.2. Tempo de duração	41
4.4.2.3. Inércia térmica.....	41
4.4.2.4. Dimensões	42
4.4.2.5. Altitude.....	43
4.4.2.6. Radiação solar e temperatura exterior.....	43
4.4.2.7. Resultados	46
4.4.2.8. Modo de gravação.....	46
4.5. SIMULAÇÕES	47
4.5.1. PRESSUPOSTOS	47
4.5.2. CENÁRIOS	47
4.5.2.1. 10 NS.....	47
4.5.2.2. 10 NSO.....	51
4.5.2.3. 20 SO	53
4.5.2.4. 30 NSO.....	56
4.5.2.5. 30 ESO.....	59
4.6. NOTAS FINAIS	62
 5. CONCLUSÕES	 63
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	65
 Bibliografia.....	 67
 Anexo	 69

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Balanço energético [adaptado 4]	4
Fig. 2.2 – Mecanismos de transferência de calor [adaptado 6]	5
Fig. 2.3 – Decomposição da radiação solar incidente num elemento envidraçado [adaptado 7]	5
Fig. 2.4 – Ganhos solares de Verão com protecção solar a 70% [adaptado 5]	7
Fig. 3.1 – Planta da fracção autónoma	12
Fig. 3.2 – Alçado do edifício	12
Fig. 3.3 – Planta com indicação dos coeficientes de transmissão térmica U	13
Fig. 3.4 – Zonas climáticas de Inverno e Verão [8]	14
Fig. 3.5 – Concelhos seleccionados e representativos das zonas climáticas [9]	14
Fig. 3.6 – Planta com orientação base dos envidraçados (Norte – Sul)	16
Fig. 3.7 – Planta com orientação base rodada a 90°	17
Fig. 3.8 – Planta com orientação base rodada a 180°	17
Fig. 3.9 – Planta com orientação base rodada a 270°	17
Fig. 3.10 – Manchas representativas das zonas climáticas V_1I_1 , V_1I_2 e V_1I_3 [10]	22
Fig. 3.11 – Manchas representativas das zonas climáticas V_2I_1 , V_2I_2 e V_2I_3 [10]	26
Fig. 3.12 – Manchas representativas das zonas climáticas V_3I_1 , V_3I_2 e V_3I_3 [10]	30
Fig. 4.1 – Posicionamento da sala na fracção autónoma	34
Fig. 4.2 – Distribuição geográfica dos concelhos simulados [adaptado 8]	35
Fig. 4.3 – Planta do apartamento com orientação base dos envidraçados (Norte – Sul)	37
Fig. 4.4 – Representação da sala com respectivos envidraçados na orientação base	37
Fig. 4.5 – Planta com orientação base rodada a 90°	37
Fig. 4.6 – Representação da sala com respectivos envidraçados na rotação 90°	38
Fig. 4.7 – Planta com orientação base rodada a 180°	38
Fig. 4.8 – Planta com orientação base rodada a 270°	38
Fig. 4.9 – Representação da sala com respectivos envidraçados na rotação 270°	39
Fig. 4.10 – Janela de apresentação	40
Fig. 4.11 – Estratégias de ventilação	40
Fig. 4.12 – Duração do estudo	41
Fig. 4.13 – Classes de inércia térmica em função da efusividade	41
Fig. 4.14 – Soluções construtivas e respectivas efusividades	42
Fig. 4.15 – Dimensões do compartimento e das respectivas divisórias	42

Fig. 4.16 – Altitude.....	43
Fig. 4.17 – Ganhos solares dos envidraçados	45
Fig. 4.18 – Temperatura exterior	45
Fig. 4.19 – Temperatura inicial	45
Fig. 4.20 – Fluxos de temperatura interior do ar	46
Fig. 4.21 – Ícones de abertura e de gravação.....	46
Fig. 4.22 – Representação esquemática da sala no cenário 10 NS	47
Fig. 4.23 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 10NS.....	48
Fig. 4.24 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 10NS50	
Fig. 4.25 – Representação esquemática da sala no cenário 10 NSO	51
Fig. 4.26 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 10NSO	52
Fig. 4.27 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 10NSO	53
Fig. 4.28 – Representação esquemática da sala no cenário 20 SO	54
Fig. 4.29 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 20SO.....	55
Fig. 4.30 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 20SO56	
Fig. 4.31 – Representação esquemática da sala no cenário 30 NSO	57
Fig. 4.32 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 30NSO	58
Fig. 4.33 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 30NSO	59
Fig. 4.34 – Representação esquemática da sala no cenário 30 ESO	60
Fig. 4.35 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 30ESO	61
Fig. 4.36 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 30ESO	62

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Valores assumidos para o cálculo regulamentar das variáveis dos ganhos solares	6
Quadro 2.2 – Valores limites das necessidades de arrefecimento (em kWh/m ² .ano).....	8
Quadro 2.3 – Valores no RCCTE do factor solar de vãos com protecção activada a 100% e vidro incolor corrente.....	8
Quadro 3.1 – Características base do apartamento	12
Quadro 3.2 – Elementos construtivos identificados através dos coeficientes de transmissão térmica.....	13
Quadro 3.3 – Dados climáticos dos concelhos simulados [8].....	15
Quadro 3.4 – Classes de inércia térmica [8]	15
Quadro 3.5 – Relação Área envidraçada / Área útil pavimento para a fracção em estudo.....	16
Quadro 3.6 – Soluções das orientações de envidraçados	18
Quadro 3.7 – Tipo de vidro e suas características.....	18
Quadro 3.8 – Concelhos representativos da zona climática V ₁	18
Quadro 3.9 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia forte em V1 verificando $N_{vc} \leq N_v$	19
Quadro 3.10 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia forte em V1	19
Quadro 3.11 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia média em V1 verificando $N_{vc} \leq N_v$	20
Quadro 3.12 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia média em V1	20
Quadro 3.13 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia fraca em V1 verificando $N_{vc} \leq N_v$	21
Quadro 3.14 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia fraca em V1	21
Quadro 3.15 – Intervalo de valores dos factores solares máximos admissíveis nas classes de inércia em V1	22
Quadro 3.16 – Concelhos representativos da zona climática V ₂	22
Quadro 3.17 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia forte em V2 verificando $N_{vc} \leq N_v$	23
Quadro 3.18 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia forte em V2	23
Quadro 3.19 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia média em V2 verificando $N_{vc} \leq N_v$	24
Quadro 3.20 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia média em V2	24
Quadro 3.21 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia fraca em V2 verificando $N_{vc} \leq N_v$	25
Quadro 3.22 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia fraca em V2	25

Quadro 3.23 – Intervalo de valores dos factores solares máximos admissíveis nas classes de inércia em V2.....	26
Quadro 3.24 – Concelhos representativos da zona climática V ₃	26
Quadro 3.25 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia forte em V3 verificando $N_{vc} \leq N_v$	27
Quadro 3.26 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia forte em V3.....	27
Quadro 3.27 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia média em V3 verificando $N_{vc} \leq N_v$	28
Quadro 3.28 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia média em V3 ..	28
Quadro 3.29 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia fraca em V3 verificando $N_{vc} \leq N_v$	29
Quadro 3.30 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia fraca em V3....	29
Quadro 3.31 – Intervalo de valores dos factores solares máximos admissíveis nas classes de inércia em V3.....	30
Quadro 4.1 – Características base da sala	34
Quadro 4.2 – Concelhos simulados	35
Quadro 4.3 – Correspondência das classes de inércia térmica segundo RCCTE com o Lesocool [adaptado 8].....	35
Quadro 4.4 – Relação Área envidraçada / Área útil pavimento da sala	36
Quadro 4.5 – Altitude por concelho	43
Quadro 4.6 – Dados de radiação solar e de temperatura exterior na Maia, Pombal e Évora	44
Quadro 4.7 – Cenário 10 NS	47
Quadro 4.8 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 10 NS	48
Quadro 4.9 – Cenário 10 NSO	51
Quadro 4.10 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 10 NSO	51
Quadro 4.11 – Cenário 20 SO	54
Quadro 4.12 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 20 SO	54
Quadro 4.13 – Cenário 30 NSO	57
Quadro 4.14 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 30 NSO	57
Quadro 4.15 – Cenário 30 ESO	60
Quadro 4.16 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 30 ESO	60
Quadro 5.1 – Factores solares máximos admissíveis do Quadro IX.2 do RCCTE.....	64

Quadro 5.2 – Proposta de factores solares máximos admissíveis (taxa unitária de renovação horária do ar)	65
--	----

1

INTRODUÇÃO

1.1. ÂMBITO DO TEMA

O tema da sustentabilidade ambiental nunca esteve tão presente nas nossas vidas como nos dias de hoje, sendo esta situação evidente em múltiplos aspectos na vivência diária. Efectivamente, tem-se assistido nos últimos anos a um despertar de consciência que visa uma actuação à escala mundial de boas práticas no uso dos recursos naturais. Tal situação resulta de um uso intensivo e desregulado dos combustíveis fósseis, que para além de provocar a sua progressiva escassez, resulta num aquecimento global originado pelo chamado efeito de estufa.

Este agravamento climático mereceu a atenção das sociedades, através das comunidades científicas, organizações mundiais e governos, tendo originado em 1997 o Protocolo de Quioto, cuja pretensão se baseia num compromisso de políticas que, no essencial, minimizem as emissões nocivas para a atmosfera, através da economia, assim como o aumento da utilização de fontes de energia novas e renováveis.

Reflectindo esta realidade para a construção, é atribuído essencialmente ao consumo energético dos edifícios na Comunidade Europeia um valor que ultrapassa os 40% do consumo final [1], enquanto em Portugal representará 30% deste respectivo valor, assumindo-se como o 2º sector em termos de emissões de CO₂. [2] Neste contexto e mediante o peso relevante deste sector no gasto nacional de cada Estado-Membro da União Europeia, surgiu em 2002 a Directiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, cuja aplicação nacional resultou nos três Decretos-Lei em vigor, nomeadamente o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), o Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) e o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). Este pacote relativo a edifícios insere-se numa estratégia abrangente de melhoria da eficiência energética e melhor uso dos recursos por parte dos sectores económicos.

É nesta óptica de optimização energética que se foca o trabalho desenvolvido, através do estudo da influência dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios, dada a importância que estes possuem no comportamento global, com vista a definir os cada vez mais exigentes padrões de conforto interior com o mínimo consumo de energia.

1.2. OBJECTIVO DO TRABALHO

A presente tese tem como intuito avaliar o impacto do factor solar dos vãos envidraçados nos edifícios, incidindo o trabalho no desempenho na estação de Verão, por forma a reconhecer a influência desta característica intrínseca ao envidraçado.

Essa análise divide-se em duas vertentes, na qual, primeiramente, através da variação de diversos parâmetros (zona climática, inércia térmica, relação entre área de envidraçado e área útil de pavimento, orientação dos vãos envidraçados e factor solar dos vidros) se pretende determinar o valor máximo admissível para o factor solar que verifique o cumprimento das imposições regulamentares do RCCTE, nomeadamente na confirmação das necessidades de arrefecimento máximas estipuladas. Os parâmetros escolhidos assumem-se como relevantes no comportamento térmico do envidraçado, tendo sido combinados entre si, de forma a criam distintos cenários possíveis de imóveis existentes em Portugal. Numa segunda fase, pretende-se identificar os níveis de conforto térmico associado aos valores de validação regulamentar máximos estimados do factor solar, numa amostra de simulações, através da utilização do programa de cálculo Lesocool. Por último, pretende-se propor novos valores regulamentares para o factor solar máximo admissível.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A organização realizada visa a correcta e intuitiva compreensão dos conteúdos, encontrando-se dividida em seis capítulos.

O presente capítulo identifica o enquadramento do tema, com menção à actual legislação, define os objectivos do trabalho e apresenta a estrutura geral do mesmo.

No Capítulo 2 é efectuada uma explanação de definições e conceitos relativos à exigência das necessidades da estação de arrefecimento impostos no RCCTE, com ênfase para o factor solar do envidraçado.

O Capítulo 3 identifica o caso de estudo, caracterizando a amostra, enumerando as varáveis e apresentando as simulações que fornecem valores máximos do factor solar do vão envidraçado.

No Capítulo 4 utilizam-se cenários do capítulo anterior, por forma a analisar a flutuação dos níveis de conforto térmico, através do programa de cálculo Lesocool.

No final, o Capítulo 5 evidencia as conclusões do estudo realizado, com apresentação duma proposta de quadro dos factores solares máximos admissíveis, para uma taxa unitária de renovação horária do ar, respeitantes às zonas climáticas existentes e tecem-se considerações sobre eventuais futuros desenvolvimentos de aprofundamento do tema abordado.

2

ENQUADRAMENTO REGULAMENTAR

2.1. INTRODUÇÃO

Tendo o presente trabalho como foco de estudo a influência do factor solar dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios na estação de Verão, pretendendo-se com isso determinar o seu valor máximo admissível, é imperioso conhecer os conceitos e exigências regulamentares do RCCTE nesta estação climatérica.

O actual regulamento estipula um método de cálculo das necessidades de arrefecimento de uma fracção autónoma de um edifício, as quais correspondem à energia útil que seria necessário retirar para que no seu interior não seja excedida a temperatura de 25 °C, durante toda a estação convencional de arrefecimento, ou seja, desde Junho até Setembro, inclusive. [3] As necessidades de arrefecimento são calculadas com recurso à expressão:

$$N_{vc} = \frac{Qg \cdot (1 - \eta)}{A_p} \text{ (kWh/m}^2\text{.an o)} \quad (2.1)$$

em que:

Qg são os ganhos totais brutos do edifício ou da fracção autónoma

η é o factor de utilização dos ganhos na estação de arrefecimento

A_p é a área útil de pavimento

Na fórmula de cálculo apresentada, os ganhos totais brutos do edifício ou da fracção autónoma são obtidos pela soma das seguintes parcelas:

- Ganhos solares pela envolvente opaca;
- Ganhos solares através dos vãos envidraçados;
- Ganhos pela renovação de ar;
- Ganhos devidos às cargas internas.

Verifica-se que o efeito da acção solar assume considerável importância na contribuição para os ganhos obtidos pela envolvente exterior, nomeadamente através dos envidraçados. É necessário compreender a sua influência nos edifícios, pois que enquanto que na estação de Inverno a radiação

solar contribui como fonte de calor para o conforto térmico interior e os seus ganhos são vistos como favoráveis para as necessidades globais de energia, no Verão a situação altera-se, pois poder-se-á atingir valores de temperatura interior desconfortáveis, que originem inclusive encargos acrescidos de custos de energia. Assim sendo, o factor de utilização (η) é calculado com base em condições distintas, apesar de ter o mesmo significado em ambas as estações.

Visto que o objectivo do estudo se centra na ênfase do factor solar do envidraçado, de seguida serão abordados unicamente os ganhos obtidos através dos envidraçados, como um parcial dos ganhos totais brutos.

2.2. GANHOS SOLARES ATRAVÉS DE VÃOS ENVIDRAÇADOS

2.2.1. PRINCÍPIO TEÓRICO

A utilização de envidraçados na concepção das envolventes dos edifícios, expõe directamente este elemento construtivo às condições climáticas existentes, originando fluxos de calor, o que trará implicações no comportamento térmico da globalidade da construção, directamente relacionadas com as características que o vão envidraçado apresentar.

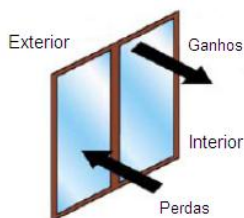


Fig. 2.1 – Balanço energético [adaptado 4]

Efectivamente, o vidro pelo nível de isolamento térmico e espessura que usualmente possui, carece de atenção a sua concepção, pois fica sujeito às trocas de calor entre o interior e exterior, as quais são reflexo de leis e princípios básicos da termodinâmica, as quais sustentam que a transmissão de calor entre dois elementos verifica-se sempre que entre eles se estabelece uma diferença de temperatura e que esta transferência de calor faz-se sempre no sentido do elemento a mais elevada temperatura para o de mais baixa temperatura. [5] Os processos de transmissão são distintos, caracterizando-se por:

- Condução (mecanismo de transporte molecular, típico de materiais sólidos, resultando da diferença de temperatura existente entre dois pontos do mesmo elemento, neste caso, entre as distintas faces do vidro e caixilho, ocorrerá uma transferência de calor, que poderá ser de ganho ou perda mediante o posicionamento da face quente e fria);
- Convecção (forma de transmissão entre um sólido e um fluído em movimento, em que o transporte de energia se realiza através das partículas que constituem o fluído, que nos envidraçados ocorrerá pela corrente de ar induzida por diferença de temperatura);
- Radiação (processo de fluxo distinto dos anteriores, que se efectua por meio de radiações electromagnéticas e que poderá acontecer em qualquer material ou estado da matéria (sólido, líquido ou gasoso)).



Fig. 2.2 – Mecanismos de transferência de calor [adaptado 6]

Importa conhecer o fenómeno da incidência da radiação solar nos elementos envidraçados, visto que do seu valor global incidente, uma parte é reflectida instantaneamente para o exterior, outra é absorvida pelo vidro e uma outra é imediatamente transmitida para o interior, sendo assim decomposta em três fracções. A parte absorvida pelo vidro será contudo ainda dividida, resultando que uma fracção retornará ao exterior, enquanto outra será transmitida ao interior. [5]

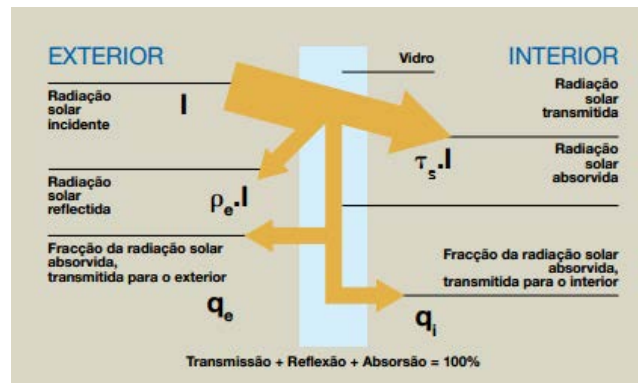


Fig. 2.3 – Decomposição da radiação solar incidente num elemento envidraçado [adaptado 7]

O quociente de cada uma das três parcelas esquematizadas na fig. 2.3 pela da radiação solar global constituem a propriedades ópticas solares do vidro, nomeadamente a refletância (ρ_s), a absorptância (α_s) e a transmitância (τ_s) e são função do ângulo de incidência e do comprimento de onda da radiação.

2.2.2. METODOLOGIA DE CÁLCULO DO RCCTE

O regulamento em vigor define especificamente para o cálculo dos ganhos solares em vãos envidraçados, a seguinte expressão:

$$Q_s = \sum_j \left[I_{r_j} \sum_n A_{snj} \right] \quad (\text{kWh}) \quad (2.2)$$

em que:

I_{r_j} é a intensidade da radiação solar incidente no vão envidraçado com a orientação j (kWh/m²)

A_{snj} é a área efectiva colectora da radiação solar da superfície n que tem a orientação j (m²)

Da expressão depreende-se que o valor de A_s obtém-se por cálculo vão a vão, ou por grupo de vãos de características idênticas de protecção solar e de incidência de radiação solar. Desta forma, a sua expressão resulta em:

$$A_s = A \cdot F_s \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \quad (\text{m}^2) \quad (2.3)$$

em que:

A é a área total do vão envidraçado, ou seja, a área de janela incluindo vidro e caixilho (m^2)

F_s é o factor de obstrução que representa a redução de radiação solar que incide no vão envidraçado devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos, quer exteriores ao edifício, quer criados por elementos dos edifícios (varia entre 0 e 1)

F_g é a fracção envidraçada que traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado (varia entre 0,57 e 0,9)

F_w é o factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados que traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar

g_{\perp} é o factor solar do vão envidraçado para radiação incidente na perpendicular ao envidraçado e que tem em conta eventuais dispositivos de protecção solar

Uma vez que o trabalho desenvolvido pretende estudar o impacto do factor solar dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios na estação de Verão, serão fixados valores que espelhem uma importante fatia das situações reais, pelo que da expressão 2.2 e 2.3, foram considerados para as variáveis em causa, os valores indicados no quadro seguinte:

Quadro 2.1 – Valores assumidos para o cálculo regulamentar das variáveis dos ganhos solares

Variável	Valor considerado para cálculo
F_s - Factor de obstrução	0,90
F_g - Fracção envidraçada	0,65
I_r - Intensidade da radiação solar	Função da orientação do envidraçado
F_w - Factor de correcção da selectividade angular	

O factor de obstrução (F_s) adoptado representa a situação dum edifício sem sombreamento do horizonte por obstruções longínquas exteriores ao edifício e sem sombreamento de elementos horizontais e verticais sobrepostos ou adjacentes ao envidraçado. Por sua vez, a fracção envidraçada (F_g) considerada é identificativa da caixilharia de madeira ou PVC, sem quadrícula no caixilho.

Os valores da intensidade da radiação solar (I_r) e do factor de correcção da selectividade angular (F_w) são obtidos no RCCTE, respectivamente no quadro III.9 e quadro V.3, função da orientação do envidraçado.

2.3. FACTOR SOLAR

2.3.1. DEFINIÇÃO

Conforme foi identificado em 2.2. constata-se que a quantidade total de energia solar que é transmitida ao interior provém de duas circunstâncias distintas. Uma das parcelas é a transmitida instantaneamente enquanto a restante, primeiramente é absorvida e só depois por via de processos de convecção e radiação é que transita para o interior. Perante este facto, surge um novo parâmetro, para contabilização do ganho solar total transmitido ao interior, designado por factor solar, visto que não é suficiente somente o conhecimento da parcela instantânea. Para baixar os fluxos de calor para o interior, visando o controlo do conforto e custos energéticos no Verão, tal será tanto mais conseguido quanto mais baixo for o valor do factor solar característico do vidro aplicado. Salienta-se, contudo, que em envidraçados comuns, este valor revela-se insuficiente sobretudo para situações de radiação directa em alargados períodos do dia, pelo que será aconselhável que estejam previstos dispositivos de protecção solar que garantam a intercepção da radiação directa e controlem o grau de incidência no vidro.

As protecções solares poderão ser do tipo horizontal ou vertical, em forma de palas ou aplicadas no plano do envidraçado, com possibilidade de regulação parcial ou total. No primeiro caso, as protecções estão integradas na estrutura do edifício e a área de sombra obtida no envidraçado é essencial para a quantificação dos ganhos solares. Relativamente à segunda concepção, o barramento da radiação é resultado do nível de activação da protecção, que por norma vem definido pelos fabricantes num valor de factor solar característico em que pelo facto de existirem dois elementos (vidro e protecção) a minimizarem os ganhos de calor inerentes à radiação incidente, originam que o factor solar do vão advém do produto dos dois factores individuais.

2.3.2. VERIFICAÇÃO REGULAMENTAR DO RCCTE

O princípio de aplicação dos factores solares está subjacente às exigências regulamentares do RCCTE, pois embora na estação de Inverno os ganhos sejam favoráveis e não existam significativas imposições, no Verão, pelas razões já anteriormente identificadas, é recomendado para o cálculo das necessidades nominais, a activação dos dispositivos de sombreamento a 70%. Isto significa que o factor solar do envidraçado é definido por 30% do factor solar do vidro mais 70% do factor solar do vão envidraçado com protecção solar móvel activada. [5][8]

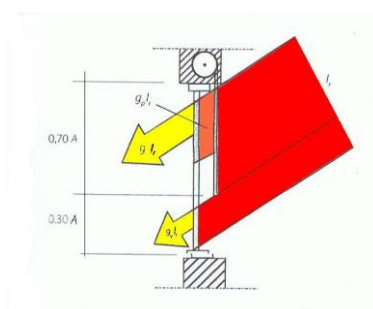


Fig. 2.4 – Ganhos solares de Verão com protecção solar a 70% [adaptado 5]

Na realização das verificações regulamentares, deve-se utilizar o pressuposto apresentado anteriormente com as percentagens indicadas, considerando a definição relativa à direcção de incidência perpendicular, quer no factor solar do vidro ($g_{\perp v}$), quer no factor solar do vão, com

protecção activada a 100% ($g_{\perp 100\%}$). Desta forma, recorre-se à seguinte expressão para obter a fórmula de cálculo do factor solar do vão envidraçado:

$$g_{\perp} = 30\%.g_{\perp v} + 70\%.g_{\perp 100\%} \quad (2.4)$$

em que:

$g_{\perp v}$ é o factor solar do vidro

$g_{\perp 100\%}$ é factor solar do vão, com protecção activada a 100%

Efectivamente, a expressão acima indicada será a base do estudo agora desenvolvido, que visa compreender para que valores máximos admissíveis de factor solar de envidraçado (g_{\perp}) se cumpre as necessidades de arrefecimento impostas no RCCTE, ou seja, para que valor se verifica a condição:

$$N_{vc} \leq N_v \quad (2.5)$$

O regulamento em vigor define no seu artigo 15.º os valores limites das necessidades de energia útil para arrefecimento (N_v), que se apresentam de seguida:

Quadro 2.2 – Valores limites das necessidades de arrefecimento (em kWh/m².ano)

N_v	Norte	Sul
V_1	16	22
V_2	18	32
V_3	26	32

De seguida apresenta-se o quadro do RCCTE com alguns valores do factor solar de vãos com protecção activada a 100% e vidro incolor corrente. [7]

Quadro 2.3 – Valores no RCCTE do factor solar de vãos com protecção activada a 100% e vidro incolor corrente

Tipo de protecção	Vidro simples - cor da protecção			Vidro duplo - cor da protecção		
	Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Protecções exteriores						
Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
Estores réguas metálicas ou PVC	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
Estore veneziano						
Lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
Lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
Estore						
Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,20
Protecções interiores						
Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59	0,69
Cortinas						
Opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
Ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
Transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
Muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-

Os valores expostos no quadro 2.3 definem as implicações do tipo de protecção a aplicar mediante os valores calculados do factor solar do envidraçado, pois a título de exemplo, se num determinado cenário estudado se obtiver um valor igual a 0,55, se a protecção for escura, quer para o vidro simples, quer para o vidro duplo, uma cortina que não seja opaca, não será suficiente como protecção interior para verificação dos limites regulamentares impostos no RCCTE na estação de arrefecimento.

A abordagem neste capítulo ao factor solar e respectivo enquadramento regulamentar, dado que constituem o tema central do presente trabalho, será alvo de análise e aprofundamento nos capítulos que se seguem.

3

CASO DE ESTUDO FACTOR SOLAR E EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

3.1. ÂMBITO

Por forma a compreender a influência do factor solar dos envidraçado (g_{\perp}) no valor regulamentado das necessidades de energia para arrefecimento de uma habitação, foi realizado uma análise de sensibilidade do seu comportamento, incidindo-se na vertente térmica de Verão. O estudo consiste na identificação do seu valor máximo admissível relativamente ao espaço total de área útil que servem, com o respectivo dispositivo de protecção solar activada a 100%, tendo-se para o efeito, utilizado a metodologia do RCCTE em vigor, em que esse valor máximo do factor solar reflecte $N_{vc}/N_v=100\%$.

3.2. CASO DE ESTUDO

3.2.1. DEFINIÇÃO

Como base de análise, escolheu-se uma fracção autónoma pertencente a um edifício destinado à habitação multifamiliar comum, com tipologias usuais, o qual se encontra distribuído por quatro pisos, sendo um deles em cave para estacionamento e os restantes para habitação. Apesar de se tratar de um apartamento real, a sua utilização neste estudo é genérica e representativa de distintas hipóteses de habitação pertencente a edifícios de habitação colectiva dispersos por Portugal.

3.2.2. CARACTERIZAÇÃO

Utilizou-se um apartamento de tipologia T2, que, por base, possui duas fachadas com vãos envidraçados, com orientação Norte e Sul, assumindo-se a Sul como principal e confrontando interiormente com zona comum através da caixa de escadas e com fracção de habitação contígua. Devido à tipologia em causa, o apartamento possui uma área útil de pavimento de 85,06 m², com pé-direito de 2,4 metros, o que em resumo resulta nas características indicadas no quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Características base do apartamento

Resumo Características Base	
Tipologia	T2
Piso	0
Área Útil Pavimento	85,06 m ²
Pé-direito	2,4 m
Orientação	N - S

A geometria do apartamento em estudo apresenta a seguinte configuração.

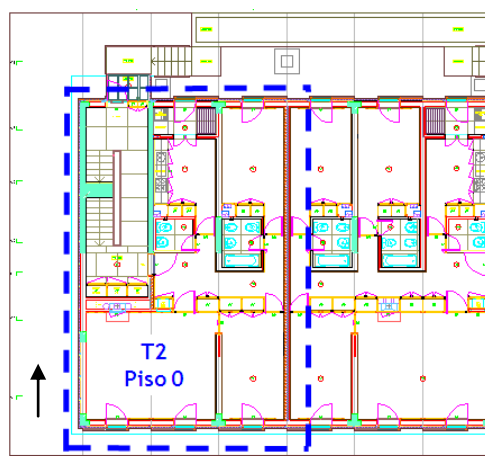


Fig. 3.1 – Planta da fracção autónoma

A figura 3.2 representa o posicionamento da fracção no edifício.

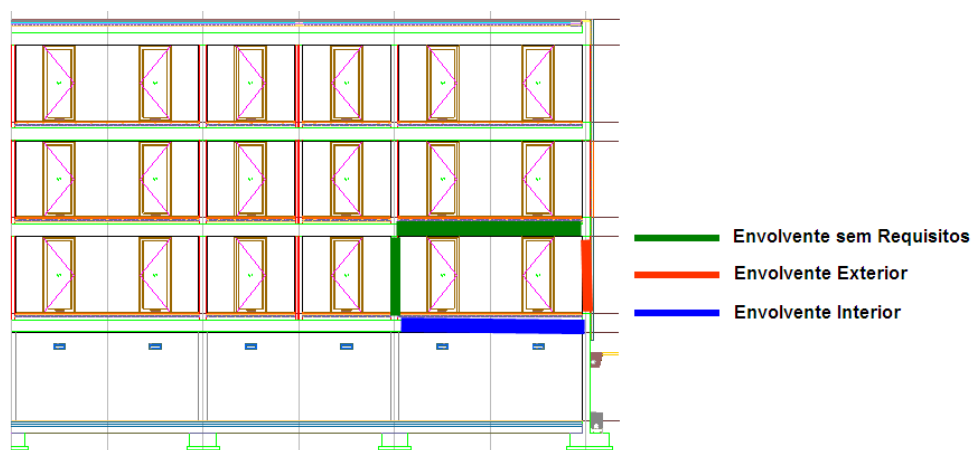


Fig. 3.2 – Alçado do edifício

3.2.3. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS BASE

O fundamento da presente análise baseia-se na alteração de relevante parte das características intrínsecas ao apartamento, contudo, é de identificar e definir as soluções construtivas da fracção em

estudo, através dos coeficientes de transmissão térmica U , para evidenciar a vertente mais técnica e generalista da construção.

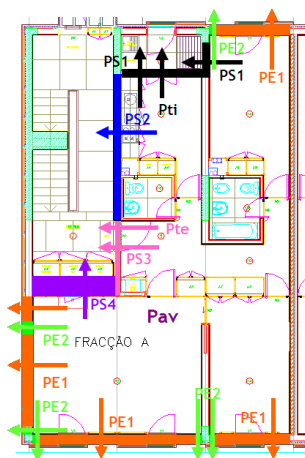


Fig. 3.3 – Planta com indicação dos coeficientes de transmissão térmica U

As indicações apresentadas na fig. 3.3, correspondem os elementos e respectivos coeficientes de transmissão térmica do quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Elementos construtivos identificados através dos coeficientes de transmissão térmica

Designação do elemento	Coeficiente de transmissão térmica U [W/(m ² .°C)]
PE1 - Parede exterior	0,58
PE2 - Ponte térmica plana no pilar	0,76
PS1 - Parede de separação com espaços não aquecidos - Lavandaria	0,85
PS2 - Parede de separação com espaços não aquecidos - Caixa Escadas	1,06
PS3 - Parede de separação com espaços não aquecidos - Acesso fogo	0,5
PS4 - Parede de separação com espaços não aquecidos - Acesso aos armários	1,3
Pte - Porta de entrada	4,3
Pti - Porta da cozinha e lavandaria	3,25
Pav - Pavimento sobre espaço interior não aquecido	2,8

3.3. CENÁRIOS

3.3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Este exercício de sensibilidade pretende reflectir as múltiplas hipóteses de situação reais existentes no parque habitacional português, pelo que foram realizadas diversas combinações de variáveis, de forma a avaliar o impacto no factor solar de Verão para cumprimento das necessidades de energia, com as inúmeras alterações nas características dos imóveis. As simulações realizadas incidem sobre as variações dos principais elementos capazes de provocar alterações relevantes na influência do factor solar dos envidraçados no comportamento térmico do edifício, sendo estes:

- Zona climática;
- Inércia térmica;
- Relação entre área de envidraçado e área útil total de pavimento;
- Orientação dos vãos envidraçados;
- Factor solar do vidro sem protecção e respectivo valor de U_{wdn} .

Estes factores ao longo dos cenários de hipóteses definidos estão todos englobados em cada exemplo e variam, quer individualmente, quer combinadamente com cada uma das outras variáveis.

3.3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

3.3.2.1. Zona Climática

Foram alteradas as localizações do edifício onde se insere a fracção habitacional em estudo, de forma a variar as condições atmosféricas a que esta poderá estar sujeita. O RCCTE em vigor define o seguinte mapeamento de cada uma das estações (Inverno e Verão).

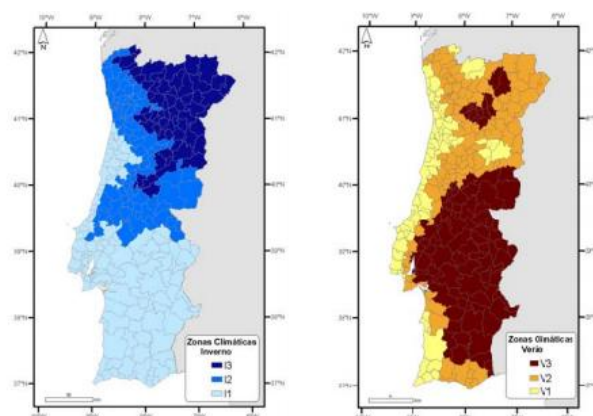


Fig. 3.4 – Zonas climáticas de Inverno e Verão [8]

Pretendeu-se que fossem englobadas todas as zonas climáticas possíveis em Portugal continental e como tal, escolheram-se nove zonas distintas, as quais estão representadas por um concelho. A lógica implícita é a de considerar as três zonas de verão – V1, V2 e V3 – fazendo variar as possíveis três zonas de Inverno em cada uma. Desta forma, resultam no total nove cenários individuais possíveis, representando diversos concelhos e cuja distribuição geográfica é apresentada na fig. 3.5.



Fig. 3.5 – Concelhos seleccionados e representativos das zonas climáticas [9]

Perante o actual RCCTE, o seu zonamento climático é identificado no Quadro III.1 com os correspondentes dados climáticos de referência dos concelhos simulados.

Quadro 3.3 – Dados climáticos dos concelhos simulados [8]

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática de Verão	Temperatura exterior de projecto (°C)	Amplitude térmica (°C)
Almada	I ₁	1160	5,3	V ₁	31	10
Maia	I ₂	1670	7	V ₁	30	10
Guarda	I ₃	2500	8	V ₁	31	13
Faro	I ₁	1060	4,3	V ₂	32	12
Pombal	I ₂	1580	6	V ₂	32	12
Chaves	I ₃	2560	7,3	V ₂	33	17
Évora	I ₁	1390	5,7	V ₃	35	17
Castelo Branco	I ₂	1650	6,7	V ₃	65	15
Baião	I ₃	2150	6,7	V ₃	34	13

Em cada uma das três zonas de Verão, existem concelhos representativos da região Norte e Sul. Segundo o actual RCCTE, a região Sul abrange toda a área a sul do rio Tejo e ainda de alguns concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém. Na amostra de concelhos, Almada, Faro e Évora pertence à região do Sul, sendo automaticamente os restantes incluídos na região Norte, o que resulta em cada uma das três zonas de Verão, a inclusão de um concelho a Sul e dois a Norte.

3.3.2.2. Inércia Térmica

A inércia térmica é função da capacidade de armazenamento de calor e como tal, depende da massa superficial útil de cada elemento da construção, que é por sua vez, definido na sua constituição, pelo posicionamento e características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial.

O RCCTE em vigor define a inércia térmica em três classes, as quais se relacionam com a massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (kg/m^2), tendo sido estas três as hipóteses consideradas nos diversos cenários criados.

Quadro 3.4 – Classes de inércia térmica [8]

Classe de inércia	Massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento (kg/m^2)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t \geq 400$

Ao longo do presente exercício, esta variável pressupõe-se conhecida das fracções habitacionais existentes, tendo-se alterado cada uma das classes de inércia térmica para simulação de resultados.

3.3.2.3. Relação entre a área de envidraçado e a área útil total de pavimento

Com a evolução sentida ao nível de materiais e técnicas aplicadas, assiste-se a uma alteração da área de envidraçados utilizada nas habitações, pois cada vez mais os vãos tendem a ter área superior. Nem sempre este aumento é acompanhado de análise que garanta o desejável comportamento térmico, quer ao nível das necessidades de energia, quer ao nível do conforto no uso dos espaços.

O exercício que foi proposto visa uma melhor compreensão relativa ao crescimento sentido na relação da área envidraçada com a área de pavimento, muitas vezes extremada com a arquitectura mais recente. Esta situação poderá levar a situações incorrectamente avaliadas e indesejáveis, pelo que foi aumentada a percentagem de área de envidraçado, aproximada a múltiplos de 5%, de forma a reconhecer os limites máximos admissíveis do factor solar de Verão.

Quadro 3.5 – Relação Área envidraçada / Área útil pavimento para a fracção em estudo

Área envidraçada (m ²)	8,68	13,02	17,36	21,7	26,04
N.º envidraçados	4	6	8	10	12
Área envidraçada / Área pavimento (%)	10	15	20	25	30

3.3.2.4. Orientação dos Vãos Envidraçados

Durante o presente estudo, teve-se em consideração a inúmeras possibilidades de orientação a que uma fracção autónoma inserida num empreendimento de habitação colectiva pode ter. O exemplo base apresentado em 3.2.2., de tipologia T2, que define uma parte significativa dos imóveis existentes, com duas frentes envidraçadas, foi adaptado a diversas situações de orientação, de forma a ampliar as circunstâncias reais de exposição solar existentes nos imóveis. Para tal, o apartamento tipo que possui orientação Norte e Sul (a última de área envidraçada superior) foi rodado 90°, 180° e 270°. Esta situação aumenta os cenários de exposição, pois abrange distintas orientações, assim como a relação de área envidraçada com respectivas orientações.

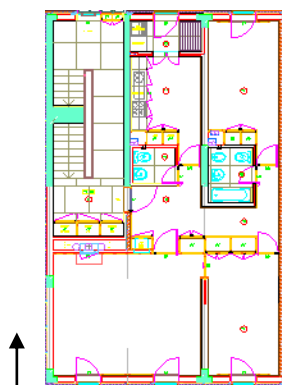


Fig. 3.6 – Planta com orientação base dos envidraçados (Norte – Sul)

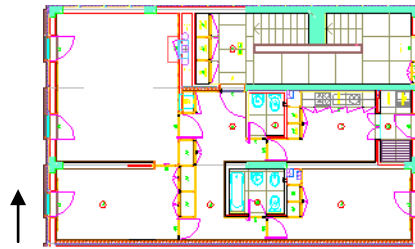


Fig. 3.7 – Planta com orientação base rodada a 90°

Para exemplificar, na Fig. 3.7, ao rodar em 90° a fracção T2, a área envidraçada superior passa a ser orientada a Oeste, enquanto a inferior passa a Este.

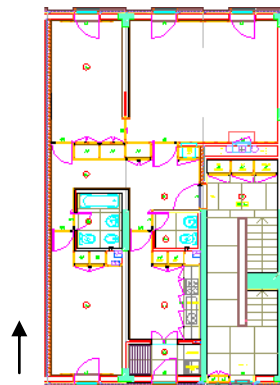


Fig. 3.8 – Planta com orientação base rodada a 180°

Na figura anterior, ao rodar em 180° a fracção T2, a área envidraçado superior passa a ser a Norte, enquanto a inferior passa a Sul.

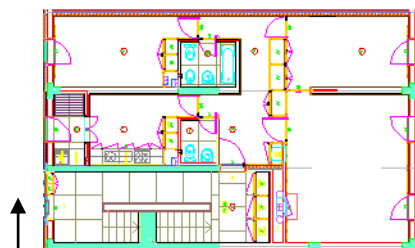


Fig. 3.9 – Planta com orientação base rodada a 270°

Neste último caso, ao rodar em 270° a fracção T2, a área envidraçado superior passa a ser a Este, enquanto a inferior passa a Oeste.

Salienta-se que arquitectura do exemplo base T2, de duas frentes envidraçadas, passa em alguns cenários expostos a ter três frentes envidraçadas, tentando-se com esta situação reflectir mais uma vez a realidade existente. Este aumento de uma frente resulta da colocação de envidraçado na fachada que não o possui no exemplo de aplicação base, dado que por limitação física, seria necessário a utilização de uma outra orientação para englobar as áreas envidraçadas superiores a nível percentual.

Quadro 3.6 – Soluções das orientações de envidraçados

Orientações de Envidraçados
N - S
N - O
E - O
S - O
N - S - O
N - E - O
E - S - O

3.3.2.5. Factor solar do vidro

Optou-se pela consideração de duas soluções existentes, uma com vidro simples e outra com vidro duplo. Ambas possuem características diferenciadas, importando perceber-se o impacto dos seus factores solares e respectivo coeficiente de transmissão térmica (U_{wdn}).

Quadro 3.7 – Tipo de vidro e suas características

Tipo de Vidro	Factor solar	Coeficiente de transmissão térmica U_{wdn} [W/(m ² .°C)]
Simple	0,85	3,9
Duplo	0,75	2,8

3.4. SIMULAÇÕES

3.4.1. ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO - V₁

3.4.1.1. Inércia Forte

Conforme definido em 3.3.2.1., os seguintes concelhos serviram de amostra para os cenários realizados na zona climática V₁, representando um a região Sul e dois a Norte.

Quadro 3.8 – Concelhos representativos da zona climática V₁

Concelho	Zona climática de Inverno/Verão
Almada	I ₁ V ₁
Maia	I ₂ V ₁
Guarda	I ₃ V ₁

A apresentação dos quadros do valor do factor solar máximo admissível ($g_{\pm\text{máx. adm.}}$) por zona climática foi diferenciado por classe de inércia térmica, pelo que se apresenta de seguida o quadro relativo à classe de inércia forte.

Quadro 3.9 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia forte em V1 verificando $N_{vc} \leq N_v$

				Almada - I ₁		Maia - I ₂ / Guarda I ₃	
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientação Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples} 0,85		g _{vidro duplo} 0,75	
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V1	Forte	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	SE	SE
			E - O	SE	SE	SE	SE
			S - O	SE	SE	SE	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	SE	SE
			E - S - O	SE	SE	SE	SE
		15	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	0,78	SE	SE	SE
			E - O	0,58	0,60	0,66	0,65
			S - O	0,73	SE	0,80	SE
			N - S - O	0,81	SE	SE	SE
			N - E - O	0,79	SE	SE	SE
			E - S - O	0,64	0,66	0,71	0,70
		20	N - S	0,73	0,73	0,81	SE
			E - O	0,42	0,43	0,49	0,48
			S - O	0,53	0,54	0,60	0,59
			N - S - O	0,65	0,66	0,74	0,71
			N - E - O	0,54	0,54	0,62	0,60
			E - S - O	0,45	0,46	0,52	0,50
		25	N - S	0,56	0,56	0,65	0,61
			E - O	0,32	0,32	0,39	0,37
			S - O	0,41	0,41	0,48	0,46
			N - S - O	0,49	0,49	0,57	0,54
			N - E - O	0,44	0,44	0,53	0,50
			E - S - O	0,35	0,36	0,42	0,40
		30	N - S - O	0,40	0,40	0,49	0,45
			N - E - O	0,34	0,33	0,42	0,39
			E - S - O	0,28	0,28	0,34	0,32

Na sequência de obtenção de valores nas diversas situações impostas, verificou-se que certos valores de factor solar máximo com protecção activada a 100% ($g_{L100\%}$) eram superiores a 1. Este valor não traduz a realidade, tanto mais que ao vidro simples equivalerá um valor de 0,85 e ao duplo de 0,75. Optou-se, na apresentação do quadro, que aos valores calculados superiores a 0,85 (vidro simples) e 0,75 (vidro duplo) seria atribuída designação “sem exigência”, utilizando-se a sigla “SE”, que define que em termos de Nvc vs Nv não se coloca qualquer obrigatoriedade aos envidraçados.

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.10 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia forte em V1

		Almada - I ₁		Maia - I ₂ / Guarda I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	
		0,85	0,75	0,85	0,75	
		Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%		
Forte	10%	SE	SE	SE	SE	Max
		SE	SE	SE	SE	Min
	15%	SE	SE	SE	SE	Max
		0,58	0,60	0,66	0,65	Min
	20%	0,73	0,73	0,81	SE	Max
		0,42	0,43	0,49	0,48	Min
	25%	0,56	0,56	0,65	0,61	Max
		0,32	0,32	0,39	0,37	Min
	30%	0,40	0,40	0,49	0,45	Max
		0,28	0,28	0,34	0,32	Min

3.4.1.2. Inércia Média

De seguida apresenta-se o quadro respeitante à zona em estudo com edifício de inércia média.

Quadro 3.11 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia média em V1 verificando $N_{vc} \leq N_v$

				Almada - I ₁		Maia - I ₂ / Guarda I ₃	
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientação Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples}		g _{vidro duplo}	
				0,85	0,75	0,85	0,75
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V1	Média	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	SE	SE
			E - O	SE	SE	0,82	SE
			S - O	SE	SE	SE	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	SE	SE
			E - S - O	SE	SE	0,85	SE
		15	N - S	0,85	SE	0,82	SE
			N - O	0,72	SE	0,71	0,71
			E - O	0,53	0,56	0,53	0,53
			S - O	0,67	0,70	0,65	0,66
			N - S - O	0,74	SE	0,72	0,73
			N - E - O	0,73	0,75	0,72	0,72
			E - S - O	0,59	0,61	0,57	0,57
		20	N - S	0,66	0,68	0,65	0,64
			E - O	0,37	0,39	0,38	0,38
			S - O	0,47	0,49	0,47	0,47
			N - S - O	0,59	0,60	0,59	0,58
			N - E - O	0,48	0,50	0,49	0,48
			E - S - O	0,40	0,42	0,40	0,40
		25	N - S	0,50	0,51	0,51	0,49
			E - O	0,27	0,28	0,29	0,28
			S - O	0,36	0,37	0,37	0,36
			N - S - O	0,43	0,44	0,44	0,43
			N - E - O	0,39	0,40	0,40	0,39
			E - S - O	0,31	0,32	0,31	0,31
		30	N - S - O	0,35	0,35	0,37	0,35
			N - E - O	0,29	0,29	0,31	0,30
			E - S - O	0,23	0,24	0,24	0,24

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.12 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia média em V1

		Almada - I ₁		Maia - I ₂ / Guarda I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	
		0,85	0,75	0,85	0,75	
		N _{vc} /N _v = 100%		N _{vc} /N _v = 100%		
Média	10	SE	SE	SE	SE	Max
		SE	SE	0,82	SE	Min
	15	0,85	SE	0,82	SE	Max
		0,53	0,56	0,53	0,53	Min
	20	0,66	0,68	0,65	0,64	Max
		0,37	0,39	0,38	0,38	Min
	25	0,50	0,51	0,51	0,49	Max
		0,27	0,28	0,29	0,28	Min
	30	0,35	0,35	0,37	0,35	Max
		0,23	0,24	0,24	0,24	Min

3.4.1.3. Inércia Fraca

De seguida apresenta-se o quadro respeitante à zona em estudo com edifício de inércia fraca.

Quadro 3.13 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia fraca em V1 verificando $N_{vc} \leq N_v$

				Almada - I ₁		Maia - I ₂ / Guarda I ₃	
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientação Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples} 0,85		g _{vidro duplo} 0,75	
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V1	Fraca	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	0,80	SE
			E - O	0,77	SE	0,65	0,68
			S - O	SE	SE	0,75	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	0,80	SE
			E - S - O	0,81	SE	0,67	0,70
		15	N - S	0,75	SE	0,64	0,65
			N - O	0,64	0,67	0,55	0,56
			E - O	0,46	0,50	0,39	0,41
			S - O	0,59	0,63	0,50	0,52
			N - S - O	0,65	0,69	0,56	0,57
			N - E - O	0,64	0,67	0,55	0,56
			E - S - O	0,51	0,54	0,42	0,44
		20	N - S	0,58	0,60	0,50	0,50
			E - O	0,31	0,34	0,26	0,28
			S - O	0,40	0,43	0,35	0,36
			N - S - O	0,51	0,54	0,44	0,45
			N - E - O	0,41	0,44	0,36	0,36
			E - S - O	0,34	0,36	0,28	0,29
		25	N - S	0,43	0,44	0,37	0,37
			E - O	0,22	0,24	0,19	0,20
			S - O	0,29	0,31	0,25	0,26
			N - S - O	0,36	0,38	0,32	0,32
			N - E - O	0,32	0,34	0,28	0,29
			E - S - O	0,25	0,27	0,21	0,21
		30	N - S - O	0,28	0,30	0,25	0,25
			N - E - O	0,23	0,25	0,20	0,21
			E - S - O	0,18	0,19	0,15	0,15

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.14 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia fraca em V1

		Almada - I ₁		Maia - I ₂ / Guarda I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		gvidro simples	gvidro duplo	gvidro simples	gvidro duplo	
		0,85	0,75	0,85	0,75	
		Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%		
Fraca	10	SE	SE	SE	SE	Max
		0,77	SE	0,65	0,68	Min
	15	0,75	SE	0,64	0,65	Max
		0,46	0,50	0,39	0,41	Min
	20	0,58	0,60	0,50	0,50	Max
		0,31	0,34	0,26	0,28	Min
	25	0,43	0,44	0,37	0,37	Max
		0,22	0,24	0,19	0,20	Min
	30	0,28	0,30	0,25	0,25	Max
		0,18	0,19	0,15	0,15	Min

3.4.1.4. Resumo

Na figura e quadro seguinte identificam-se, respectivamente, a mancha climática da zona V1 e respectivas zona I1, I2 e I3 cujos concelhos foram analisados, assim como os intervalos de valores balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados nas três classes de inércia térmica.

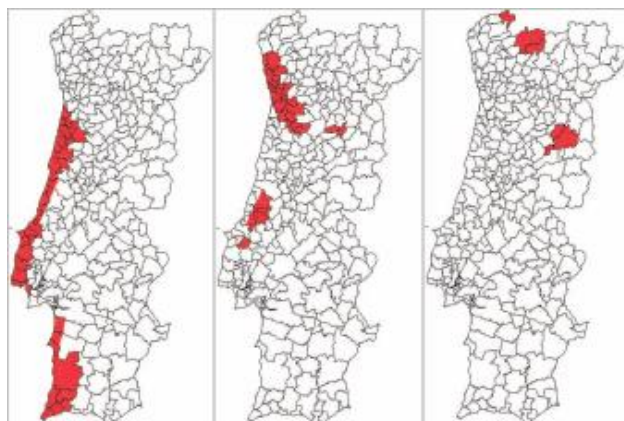


Fig. 3.10 – Manchas representativas das zonas climáticas V₁I₁, V₁I₂ e V₁I₃ [10]

Quadro 3.15 – Intervalo de valores dos factores solares máximos admissíveis nas classes de inércia em V1

	Almada - I ₁		Maia - I ₂ / Guarda I ₃		
Classe Inércia Térmica	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
	g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	
	0,85	0,75	0,85	0,75	
	Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%		
Forte	SE	SE	SE	SE	Max
	0,28	0,28	0,34	0,32	Min
Média	SE	SE	SE	SE	Max
	0,23	0,24	0,24	0,24	Min
Frac	SE	SE	SE	SE	Max
	0,18	0,19	0,15	0,15	Min

3.4.2. ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO – V₂

3.4.2.1. Inércia Forte

Conforme definido em 3.3.2.1., os seguintes concelhos serviram de amostra para os cenários realizados na zona climática V₂, representado um a região Sul e dois a Norte.

Quadro 3.16 – Concelhos representativos da zona climática V₂

Concelho	Zona climática de Inverno/Verão
Faro	I ₁ V ₂
Pombal	I ₂ V ₂
Chaves	I ₃ V ₂

De seguida apresenta-se o quadro respeitante à zona em estudo com edifício de inércia forte.

Quadro 3.17 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia forte em V2 verificando $N_{vc} \leq N_v$

				Faro - I ₁		Pombal - I ₂ / Chaves I ₃	
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientação Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples} 0,85		g _{vidro duplo} 0,75	
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V2	Forte	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	SE	SE
			E - O	SE	SE	SE	SE
			S - O	SE	SE	SE	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	SE	SE
			E - S - O	SE	SE	SE	SE
		15	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	0,76	SE	SE	SE
			E - O	0,54	0,60	0,68	0,68
			S - O	0,75	SE	0,80	SE
			N - S - O	0,82	SE	SE	SE
			N - E - O	0,76	SE	SE	SE
			E - S - O	0,62	0,68	0,72	0,72
		20	N - S	0,75	SE	0,81	SE
			E - O	0,36	0,40	0,50	0,50
			S - O	0,51	0,56	0,60	0,59
			N - S - O	0,64	0,69	0,75	0,73
			N - E - O	0,48	0,52	0,64	0,63
			E - S - O	0,40	0,44	0,52	0,51
			25	N - S	0,55	0,59	0,64
		E - O		0,25	0,29	0,40	0,38
		S - O		0,37	0,41	0,48	0,46
		N - S - O		0,45	0,49	0,58	0,55
		N - E - O		0,37	0,41	0,55	0,52
		E - S - O		0,29	0,33	0,42	0,41
		30		N - S - O	0,35	0,39	0,48
			N - E - O	0,26	0,29	0,43	0,41
			E - S - O	0,20	0,23	0,34	0,33

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.18 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia forte em V2

		Faro - I ₁		Pombal - I ₂ / Chaves I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	
		0,85	0,75	0,85	0,75	
		Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%		
Forte	10%	SE	SE	SE	SE	Max
		SE	SE	SE	SE	Min
	15%	SE	SE	SE	SE	Max
		0,54	0,60	0,68	0,68	Min
	20%	0,75	SE	0,81	SE	Max
		0,36	0,40	0,50	0,50	Min
	25%	0,55	0,59	0,64	0,61	Max
		0,25	0,29	0,40	0,38	Min
	30%	0,35	0,39	0,48	0,46	Max
		0,20	0,23	0,34	0,33	Min

3.4.2.2. Inércia Média

De seguida apresenta-se o quadro respeitante à zona em estudo com edifício de inércia média.

Quadro 3.19 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia média em V2 verificando $N_{vc} \leq N_v$

			Faro - I ₁		Pombal - I ₂ / Chaves I ₃		
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientações Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples}		g _{vidro duplo}	
				0,85	0,75	0,85	0,75
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V2	Média	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	SE	SE
			E - O	SE	SE	SE	SE
			S - O	SE	SE	SE	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	SE	SE
			E - S - O	SE	SE	SE	SE
		15	N - S	SE	SE	0,84	SE
			N - O	0,76	SE	0,77	SE
			E - O	0,54	0,60	0,57	0,58
			S - O	0,74	SE	0,68	0,69
			N - S - O	0,82	SE	0,76	SE
			N - E - O	0,75	SE	0,78	SE
			E - S - O	0,61	0,67	0,60	0,61
		20	N - S	0,74	SE	0,67	0,67
			E - O	0,35	0,40	0,40	0,41
			S - O	0,50	0,55	0,49	0,49
			N - S - O	0,63	0,69	0,62	0,62
			N - E - O	0,47	0,52	0,53	0,53
			E - S - O	0,39	0,44	0,42	0,42
			25	N - S	0,54	0,59	0,52
		E - O		0,24	0,28	0,31	0,31
		S - O		0,36	0,40	0,38	0,38
		N - S - O		0,44	0,48	0,46	0,46
		N - E - O		0,36	0,40	0,44	0,43
		E - S - O		0,28	0,32	0,33	0,33
		30		N - S - O	0,34	0,38	0,38
			N - E - O	0,25	0,29	0,34	0,33
			E - S - O	0,19	0,23	0,26	0,25

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.20 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia média em V2

		Faro - I ₁		Pombal - I ₂ / Chaves I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	
		0,85	0,75	0,85	0,75	
		N _{vc} /N _v = 100%		N _{vc} /N _v = 100%		
Média	10	SE	SE	SE	SE	Max
		SE	SE	SE	SE	Min
	15	SE	SE	0,84	SE	Max
		0,54	0,60	0,57	0,58	Min
	20	0,74	SE	0,67	0,67	Max
		0,35	0,40	0,40	0,41	Min
	25	0,54	0,59	0,52	0,51	Max
		0,24	0,28	0,31	0,31	Min
	30	0,34	0,38	0,38	0,37	Max
		0,19	0,23	0,26	0,25	Min

3.4.2.3. Inércia Fraca

De seguida apresenta-se o quadro respeitante à zona em estudo com edifício de inércia fraca.

Quadro 3.21 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia fraca em V2 verificando $N_{vc} \leq N_v$

				Faro - I ₁		Pombal - I ₂ / Chaves I ₃	
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientações Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples} 0,85		g _{vidro duplo} 0,75	
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V2	Fraca	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	SE	SE
			E - O	SE	SE	0,73	SE
			S - O	SE	SE	0,82	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	SE	SE
			E - S - O	SE	SE	0,74	SE
		15	N - S	SE	SE	0,68	0,70
			N - O	0,74	SE	0,62	0,64
			E - O	0,52	0,58	0,45	0,47
			S - O	0,73	SE	0,54	0,56
			N - S - O	0,80	SE	0,61	0,63
			N - E - O	0,73	SE	0,63	0,64
			E - S - O	0,59	0,66	0,47	0,49
		20	N - S	0,72	SE	0,53	0,54
			E - O	0,34	0,39	0,30	0,32
			S - O	0,48	0,54	0,37	0,39
			N - S - O	0,61	0,67	0,48	0,50
			N - E - O	0,45	0,51	0,41	0,42
			E - S - O	0,38	0,43	0,31	0,33
		25	N - S	0,52	0,57	0,40	0,40
			E - O	0,23	0,27	0,22	0,23
			S - O	0,34	0,39	0,28	0,29
			N - S - O	0,42	0,47	0,35	0,36
			N - E - O	0,35	0,39	0,33	0,33
			E - S - O	0,27	0,31	0,23	0,24
		30	N - S - O	0,33	0,37	0,27	0,28
			N - E - O	0,23	0,27	0,24	0,24
			E - S - O	0,18	0,22	0,17	0,18

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.22 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia fraca em V2

		Faro - I ₁		Pombal - I ₂ / Chaves I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		gvidro simples	gvidro duplo	gvidro simples	gvidro duplo	
		0,85	0,75	0,85	0,75	
		Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%		
Fraca	10	SE	SE	SE	SE	Max
		SE	SE	0,73	SE	Min
	15	SE	SE	0,68	0,70	Max
		0,52	0,58	0,45	0,47	Min
	20	0,72	SE	0,53	0,54	Max
		0,34	0,39	0,30	0,32	Min
	25	0,52	0,57	0,40	0,40	Max
		0,23	0,27	0,22	0,23	Min
	30	0,33	0,37	0,27	0,28	Max
		0,18	0,22	0,17	0,18	Min

3.4.2.4. Resumo

Na figura e quadro seguinte identificam-se, respectivamente, a mancha climática da zona V2 e respectivas zona I1, I2 e I3 cujos concelhos foram analisados, assim como os intervalos de valores balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados nas três classes de inércia térmica.

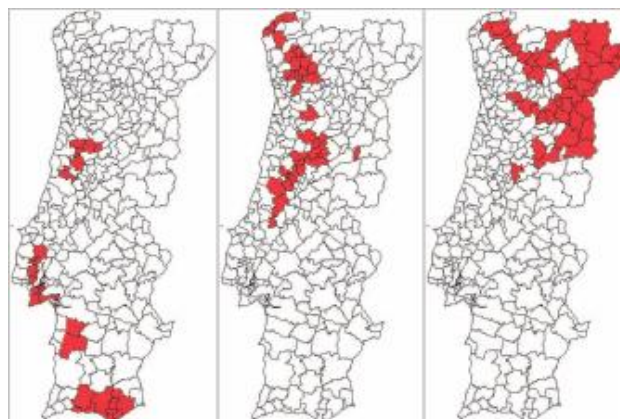


Fig. 3.11 – Manchas representativas das zonas climáticas V2I1, V2I2 e V2I3 [10]

Quadro 3.23 – Intervalo de valores dos factores solares máximos admissíveis nas classes de inércia em V2

	Faro - I ₁		Pombal - I ₂ / Chaves I ₃		
Classe Inércia Térmica	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
	g _{vidro simples} 0,85	g _{vidro duplo} 0,75	g _{vidro simples} 0,85	g _{vidro duplo} 0,75	
	Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%		
Forte	SE	SE	SE	SE	Max
	0,20	0,23	0,34	0,33	Min
Média	SE	SE	SE	SE	Max
	0,19	0,23	0,26	0,25	Min
Frac	SE	SE	SE	SE	Max
	0,18	0,22	0,17	0,18	Min

3.4.3. ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO – V₃

3.4.3.1. Inércia Forte

Conforme definido em 3.3.2.1., os seguintes concelhos serviram de amostra para os cenários realizados na zona climática V₃, representado um a região Sul e dois a Norte.

Quadro 3.24 – Concelhos representativos da zona climática V₃

Concelho	Zona climática de Inverno/Verão
Évora	I ₁ V ₃
Castelo Branco	I ₂ V ₃
Baião	I ₂ V ₃

De seguida apresenta-se o quadro respeitante à zona em estudo com edifício de inércia forte.

Quadro 3.25 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia forte em V3 verificando $N_{vc} \leq N_v$

				Évora - I ₁		Castelo Branco - I ₂ / Baião I ₃	
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientação Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples} 0,85		g _{vidro duplo} 0,75	
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V3	Forte	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	SE	SE
			E - O	SE	SE	SE	SE
			S - O	SE	SE	SE	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	SE	SE
			E - S - O	SE	SE	SE	SE
		15	N - S	SE	SE	0,84	SE
			N - O	0,77	SE	0,73	SE
			E - O	0,56	0,62	0,53	0,56
			S - O	0,72	SE	0,67	0,70
			N - S - O	0,80	SE	0,74	SE
			N - E - O	0,77	SE	0,73	SE
			E - S - O	0,62	0,68	0,57	0,61
		20	N - S	0,69	0,75	0,65	0,68
			E - O	0,37	0,42	0,36	0,39
			S - O	0,49	0,54	0,46	0,49
			N - S - O	0,61	0,66	0,59	0,61
			N - E - O	0,49	0,53	0,47	0,50
			E - S - O	0,40	0,45	0,38	0,41
		25	N - S	0,50	0,55	0,49	0,51
			E - O	0,26	0,30	0,26	0,28
			S - O	0,35	0,39	0,34	0,36
			N - S - O	0,43	0,47	0,42	0,44
			N - E - O	0,38	0,42	0,38	0,40
			E - S - O	0,29	0,33	0,29	0,30
		30	N - S - O	0,33	0,37	0,34	0,35
			N - E - O	0,27	0,30	0,28	0,29
			E - S - O	0,20	0,24	0,21	0,23

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.26 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia forte em V3

		Évora - I ₁		C. Branco - I ₂ / Baião I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	
		0,85	0,75	0,85	0,75	
		N _{vc} /N _v = 100%		N _{vc} /N _v = 100%		
Forte	10%	SE	SE	SE	SE	Max
		SE	SE	SE	SE	Min
	15%	SE	SE	0,84	SE	Max
		0,56	0,62	0,53	0,56	Min
	20%	0,69	0,75	0,65	0,68	Max
		0,37	0,42	0,36	0,39	Min
	25%	0,50	0,55	0,49	0,51	Max
		0,26	0,30	0,26	0,28	Min
	30%	0,33	0,37	0,34	0,35	Max
		0,20	0,24	0,21	0,23	Min

3.4.3.2. Inércia Média

De seguida apresenta-se o quadro respeitante à zona em estudo com edifício de inércia média.

Quadro 3.27 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia média em V3 verificando $N_{vc} \leq N_v$

				Évora - I ₁		Castelo Branco - I ₂ / Baião I ₃	
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientação Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples} 0,85		g _{vidro duplo} 0,75	
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V3	Média	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	SE	SE
			E - O	SE	SE	0,84	SE
			S - O	SE	SE	SE	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	SE	SE
			E - S - O	SE	SE	SE	SE
		15	N - S	SE	SE	0,81	SE
			N - O	0,76	SE	0,70	0,74
			E - O	0,56	0,62	0,50	0,54
			S - O	0,72	SE	0,64	0,68
			N - S - O	0,79	SE	0,71	SE
			N - E - O	0,76	SE	0,70	0,74
			E - S - O	0,61	0,67	0,55	0,59
		20	N - S	0,68	0,74	0,62	0,65
			E - O	0,37	0,42	0,34	0,37
			S - O	0,48	0,54	0,44	0,47
			N - S - O	0,60	0,66	0,56	0,59
			N - E - O	0,48	0,53	0,45	0,48
			E - S - O	0,39	0,44	0,36	0,39
			25	N - S	0,50	0,54	0,46
		E - O		0,25	0,29	0,24	0,26
		S - O		0,35	0,39	0,32	0,34
		N - S - O		0,42	0,47	0,40	0,42
		N - E - O		0,37	0,41	0,35	0,38
		E - S - O		0,28	0,33	0,26	0,29
		30		N - S - O	0,32	0,36	0,31
			N - E - O	0,26	0,29	0,25	0,27
			E - S - O	0,20	0,23	0,19	0,21

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.28 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia média em V3

		Évora - I ₁		C. Branco - I ₂ / Baião I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	g _{vidro simples}	g _{vidro duplo}	
		0,85	0,75	0,85	0,75	
		N _{vc} /N _v = 100%		N _{vc} /N _v = 100%		
Média	10	SE	SE	SE	SE	Max
		SE	SE	0,84	SE	Min
	15	SE	SE	0,81	SE	Max
		0,56	0,62	0,50	0,54	Min
	20	0,68	0,74	0,62	0,65	Max
		0,37	0,42	0,34	0,37	Min
	25	0,50	0,54	0,46	0,48	Max
		0,25	0,29	0,24	0,26	Min
	30	0,32	0,36	0,31	0,33	Max
		0,20	0,23	0,19	0,21	Min

3.4.3.3. Inércia Fraca

De seguida apresenta-se o quadro respeitante à zona em estudo com edifício de inércia fraca.

Quadro 3.29 – Factores solares máximos admissíveis na classe de inércia fraca em V3 verificando $N_{vc} \leq N_v$

				Évora - I ₁		Castelo Branco - I ₂ / Baião I ₃	
Zona Climática Verão	Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Orientação Envidraçados	Factor solar máx. de vãos com protecção solar activa a 100%			
				g _{vidro simples} 0,85	g _{vidro duplo} 0,75	g _{vidro simples} 0,85	g _{vidro duplo} 0,75
				Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%	
V3	Fraca	10	N - S	SE	SE	SE	SE
			N - O	SE	SE	SE	SE
			E - O	SE	SE	0,79	SE
			S - O	SE	SE	SE	SE
			N - S - O	SE	SE	SE	SE
			N - E - O	SE	SE	SE	SE
			E - S - O	SE	SE	0,82	SE
		15	N - S	SE	SE	0,76	SE
			N - O	0,74	SE	0,65	0,69
			E - O	0,54	0,60	0,47	0,51
			S - O	0,70	SE	0,59	0,64
			N - S - O	0,77	SE	0,66	0,71
			N - E - O	0,74	SE	0,65	0,70
			E - S - O	0,59	0,66	0,50	0,55
		20	N - S	0,66	0,72	0,57	0,61
			E - O	0,35	0,40	0,30	0,34
			S - O	0,47	0,52	0,40	0,44
			N - S - O	0,59	0,64	0,51	0,55
			N - E - O	0,46	0,52	0,41	0,44
			E - S - O	0,38	0,43	0,32	0,36
		25	N - S	0,48	0,53	0,42	0,45
			E - O	0,24	0,28	0,21	0,24
			S - O	0,33	0,38	0,28	0,31
			N - S - O	0,41	0,45	0,36	0,39
			N - E - O	0,35	0,40	0,32	0,34
			E - S - O	0,27	0,31	0,23	0,26
		30	N - S - O	0,31	0,35	0,27	0,30
			N - E - O	0,24	0,28	0,22	0,24
			E - S - O	0,18	0,22	0,16	0,18

No quadro seguinte identificam-se os intervalos de valores, balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados.

Quadro 3.30 – Valores limite do factor solar máximo admissível na classe de inércia fraca em V3

		Évora - I ₁		C. Branco - I ₂ / Baião I ₃		
Classe Inércia Térmica	Área Vidro / Área Pavimento (%)	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
		g _{vidro simples} 0,85	g _{vidro duplo} 0,75	g _{vidro simples} 0,85	g _{vidro duplo} 0,75	
		Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%		
Fraca	10	SE	SE	SE	SE	Max
		SE	SE	0,79	SE	Min
	15	SE	SE	0,76	SE	Max
		0,54	0,60	0,47	0,51	Min
	20	0,66	0,72	0,57	0,61	Max
		0,35	0,40	0,30	0,34	Min
	25	0,48	0,53	0,42	0,45	Max
		0,24	0,28	0,21	0,24	Min
	30	0,31	0,35	0,27	0,30	Max
		0,18	0,22	0,16	0,18	Min

3.4.3.4. Resumo

Na figura e quadro seguinte identificam-se, respectivamente, a mancha climática da zona V3 e respectivas zona I1, I2 e I3 cujos concelhos foram analisados, assim como os intervalos de valores balizados pelo valor máximo e mínimo dos factores solares calculados nas três classes de inércia térmica.

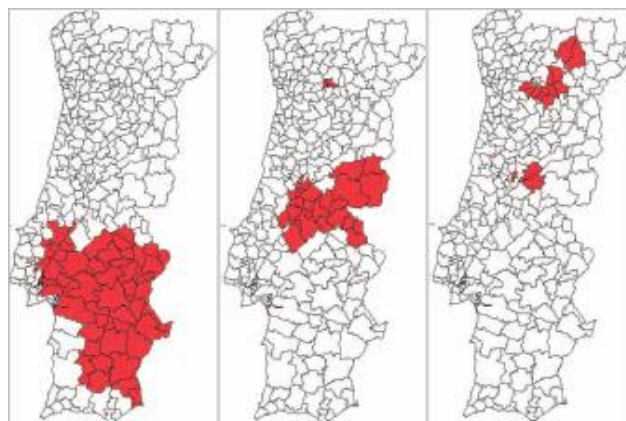


Fig. 3.12 – Manchas representativas das zonas climáticas V3I1, V3I2 e V3I3 [10]

Quadro 3.31 – Intervalo de valores dos factores solares máximos admissíveis nas classes de inércia em V3

	Évora - I ₁		C. Branco - I ₂ / Baião I ₃		
Classe Inércia Térmica	Factor solar máximo admissível de vãos com protecção solar activa a 100%				Valores Limite no Intervalo
	g _{vidro simples} 0,85	g _{vidro duplo} 0,75	g _{vidro simples} 0,85	g _{vidro duplo} 0,75	
	Nvc/Nv = 100%		Nvc/Nv = 100%		
Forte	SE	SE	SE	SE	Max
	0,20	0,24	0,21	0,23	Min
Média	SE	SE	SE	SE	Max
	0,20	0,23	0,19	0,21	Min
Frac.	SE	SE	SE	SE	Max
	0,18	0,22	0,16	0,18	Min

3.5. NOTAS FINAIS

Perante os quadros apresentados e após análise dos mesmos, conclui-se que:

- O factor solar máximo admissível nas áreas de envidraçado de 10% e 15% (relativos à área de pavimento) não é condicionador relativamente ao tipo de protecção, salvo situações muito pontuais. Verifica-se que o limite entre a necessidade de colocação de protecção interior e exterior acontece sobretudo nos 20% de envidraçado, dado que nas três zonas (V₁, V₂ e V₃) os valores máximos do factor solar inserem-se no intervalo de valores aproximado de 0,4-0,5 na inércia forte, no intervalo 0,35-0,40 na inércia média e no intervalo 0,30-0,40 na inércia fraca. Na percentagem de envidraçado de 25% face ao pavimento o valor ronda os 0,3 para inércia forte, fica ligeiramente abaixo dos 0,3 na inércia média e abaixo dos 0,25 na inércia fraca. Nos 30% de envidraçado os valores descem aproximadamente dos 0,3 para 0,2 desde a inércia forte para a inércia fraca. Esta situação confirma que o factor solar desce com a diminuição de inércia térmica.

- Não é perceptível uma cadência homogénea no crescimento do factor solar entre as três zonas de Verão, aliás, o que se verifica é uma flutuação dos valores, pois tanto pode ocorrer uma subida de V1 para V2, como de seguida descer em V3. No que respeita ao diferencial em cada zona de Verão, por variação da zona de Inverno, embora não seja regra absoluta, os valores tendem a descer com o crescimento de I1 para I3;
- Das variadas orientações testadas dos vãos envidraçados, a opção E-O revelou-se a mais exigente com os valores dos factores solares mais baixos, seguida da E-S-O e da S-O. As que possuíam uma orientação N ficaram sempre com valores distantes, ou seja, mais altos.

4

CASO DE ESTUDO FACTOR SOLAR E CONFORTO TÉRMICO

4.1. ÂMBITO

O presente Capítulo tem o intuito de servir de complemento à abordagem do Capítulo 3, visto que o estudo anteriormente efectuado visava somente a quantificação do valor máximo admissível para o valor do factor solar dos envidraçados (g_{\perp}), de forma a cumprir as necessidades de energia para arrefecimento de uma habitação. Com este novo Capítulo pretende-se compreender o impacto térmico desta verificação regulamentar no interior duma habitação, ou seja, esclarecer se os valores então obtidos do factor solar são condição única para assegurar as necessárias condições de conforto na utilização dum espaço interior (compartimento) da habitação estudada.

Pretende-se também que os resultados aferidos permitam constituir uma base de sensibilidade para a análise crítica dos valores dos factores solares máximos admissíveis de vão envidraçados com mais de 5% de área útil do espaço que servem, apresentados no quadro IX.2 do RCCTE.

Para o estudo do conforto térmico interior da habitação recorreu-se a um modelo de cálculo, através do programa Lesocool, o qual permite identificar os respectivos níveis de temperatura.

4.2. CASO DE ESTUDO

4.2.1. DEFINIÇÃO

Na continuidade do trabalho já desenvolvido, utilizou-se nesta análise a fracção autónoma do edifício destinado à habitação multifamiliar estudada no Capítulo 3, a qual se recorda tratar-se de um apartamento de tipologia T2. Como o programa de cálculo baseia-se no estudo térmico por compartimento, seleccionou-se a sala pois será aquele que tenderá a ter área envidraçada superior do total dos compartimentos existentes e no qual se centra o maior tempo de vivência social na ocupação do apartamento.

4.2.2. CARACTERIZAÇÃO

A sala estudada originalmente possui vãos envidraçados com orientação Sul, com uma área útil de pavimento de 26,2 m², com pé-direito de 2,4 metros, o que em resumo resulta nas características indicadas no quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Características base da sala

Resumo Características Base	
Área Útil Pavimento	26,2 m ²
Pé-direito	2,4 m
Orientação	Sul

O posicionamento da sala no apartamento em estudo é o seguinte:

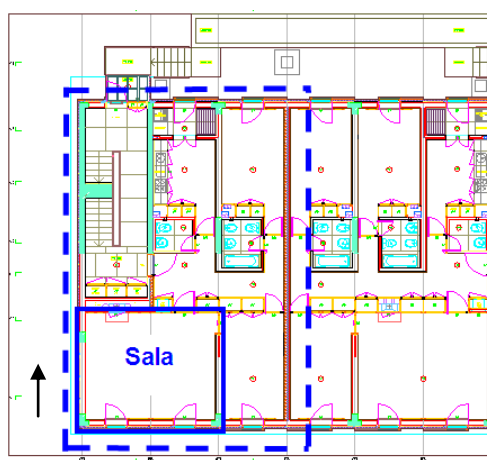


Fig. 4.1 – Posicionamento da sala na fracção autónoma

4.3. CENÁRIOS

4.3.1. IDENTIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS

À semelhança do ocorrido em 3.3. para a generalidade do apartamento, na análise de sensibilidade que agora se pretende obter através do estudo do conforto térmico, as variáveis a considerar são as já expostas para o estudo do Capítulo anterior. No fundo criam-se as mesmas condições para compreender o impacto no factor solar dos envidraçados no Verão, contudo centrando-se os resultados na flutuação térmica interior da sala, que são reflexo do padrão de conforto que se pode usufruir na utilização do dia-a-dia. Assim sendo, as alterações criadas incidem sobre:

- Zona climática;
- Inércia térmica;
- Relação entre área de envidraçado e área útil de pavimento da sala;
- Orientação dos vãos envidraçados;
- Factor solar do vidro sem protecção e respectivo valor de U_{wdn} .

4.3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

4.3.2.1. Zona Climática

Para estudo da estação de arrefecimento em Portugal continental, foram considerados três hipotéticas localizações da fracção habitacional e respectiva sala, seleccionando um dos concelhos já previamente analisados em 3.3.2.1., de cada uma das zonas V1, V2 e V3.

Quadro 4.2 – Concelhos simulados

Concelho	Zona climática de Verão
Maia	V ₁
Pombal	V ₂
Évora	V ₃

Afim de não tornar o estudo excessivamente moroso, assumiu-se que cada das escolhas é caracterizadora das condições climáticas definidas no RCCTE para a zona em causa e para que existisse uma melhor distribuição do espaço geográfico nacional, as escolhas recaíram em concelhos que se situam distribuídos pelas denominadas zonas Norte, Centro e Sul.

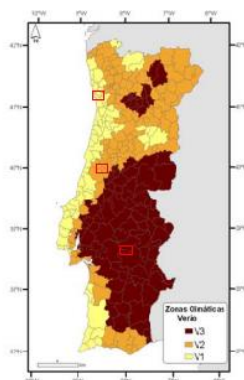


Fig. 4.2 – Distribuição geográfica dos concelhos simulados [adaptado 8]

4.3.2.2. Inércia Térmica

No programa de cálculo utilizado, são predefinidas quatro hipóteses de massa construtiva do edifício através da característica efusividade (1500, 1000, 750 e 200), que mediante a ordem de grandeza dos valores que apresenta, relaciona-se com as classes de inércia térmica em vigor no RCCTE. Para o presente estudo foi considerada a correspondência do quadro 4.3, salientando-se que o valor superior e inferior foram associados, respectivamente, à classe forte e fraca, e à classe média foi atribuído o valor médio entre a classe forte e fraca:

Quadro 4.3 – Correspondência das classes de inércia térmica segundo RCCTE com o Lesocool [adaptado 8]

Classe de inércia	RCCTE (kg/m ²)	Efusividade (J/m ² .°C.s ^{1/2})
Fraca	$I_t < 150$	1500
Média	$150 \leq I_t \leq 400$	850
Forte	$I_t \geq 400$	200

4.3.2.3. Relação entre a área de envidraçado e a área útil de pavimento da sala

Na selecção da percentagem de envidraçados com a área total de pavimento apresentada em 3.3.2.3., foi contabilizada a área de envidraçado total do apartamento (somatório de envidraçado existentes em todas as orientações) dividida pela área total do apartamento T2. Para a análise levada a cabo neste Capítulo, e perante a incidência do estudo de conforto térmico se basear no compartimento da sala, a percentagem de área envidraçada relativamente à área de pavimento será distinta da então apresentada, pois é contabilizada somente a área existente na sala, dividida pela área deste compartimento. Significa isto que, para cada situação arquitectónica estudada para o apartamento no Capítulo 3, corresponderá agora uma determinada relação entre envidraçado e pavimento da respectiva sala, apresentando-se de seguida o respectivo quadro.

Quadro 4.4 – Relação Área envidraçada / Área útil pavimento da sala

Área de envidraçados do apartamento / Área útil de pavimento do apartamento (%)	Área de envidraçados da sala (m2)	Área útil de pavimento da sala (m2)	Área de envidraçados da sala / Área útil de pavimento da sala (%)
10	4,34	26,2	17
	6,51		25
15	6,51		25
	8,68		33
20	8,68		33
	10,85		41
	13,02		50
25	13,02		50
	17,36		66
30	17,36		66

4.3.2.4. Orientação dos Vãos Envidraçados da Sala

A orientação dos vãos envidraçados da sala resulta das diversas variações a que o apartamento foi sujeito, já demonstradas em 3.3.2.4., em que, cada situação de exposição da fracção origina uma determinada orientação da sala e respectivos envidraçados. Tendo como princípio a orientação base do apartamento e apesar de esta possuir duas frentes envidraçadas (Norte-Sul), só a Sul é que nesta situação existe envidraçado na sala. A disposição e percentagem de envidraçado neste compartimento vão variando ao longo do estudo, sendo esses valores estudados no programa de cálculo.

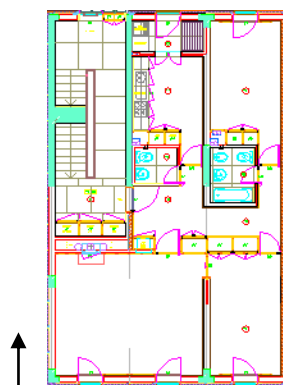


Fig. 4.3 – Planta do apartamento com orientação base dos envidraçados (Norte – Sul)

A orientação acima exposta foi exponenciada nos cenários estudados, visto que com a simulação de área envidraçada a Oeste, através da colocação de janelas nesta orientação, a sala fica sujeita a um dos mais elevados impactos térmicos originados pelos ganhos solares, pois a orientação Oeste, eventualmente associada também à Sul, são responsáveis pelos picos de radiação solar diário.

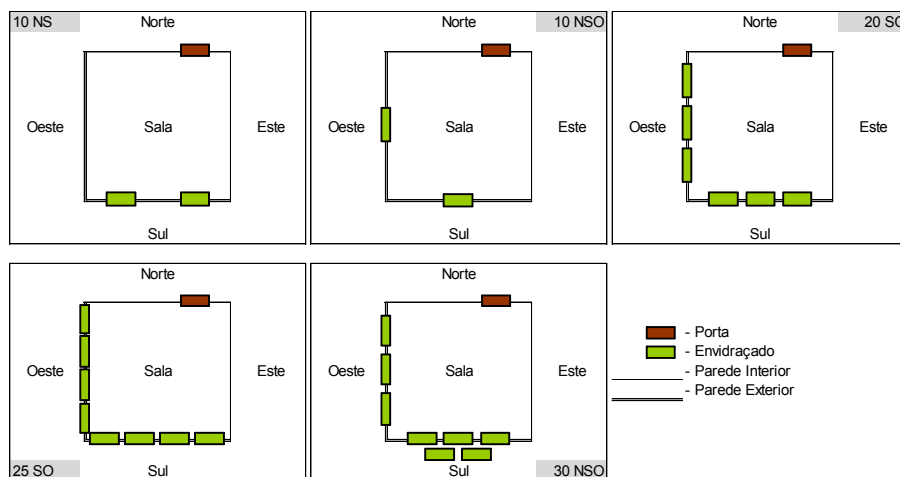


Fig. 4.4 – Representação da sala com respectivos envidraçados na orientação base

Na rotação de 90° da fracção T2, a área envidraçada da sala encontra-se orientada a Oeste.

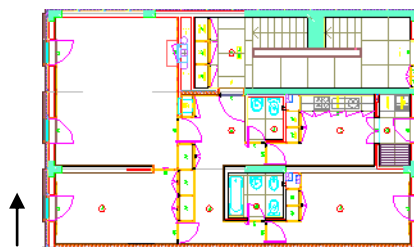


Fig. 4.5 – Planta com orientação base rodada a 90°

Neste caso, a orientação privilegiada para a existência de envidraçados foi a Oeste, não tendo-se abordado outros cenários, pois evitou-se no estudo o posicionamento de envidraçados a Norte, única opção possível pela geometria da planta.

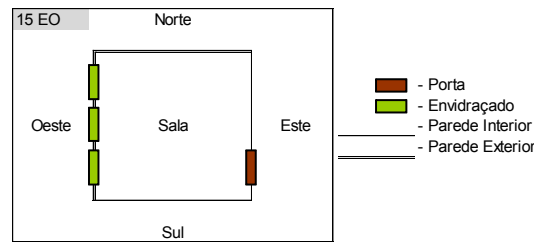


Fig. 4.6 – Representação da sala com respectivos envidraçados na rotação 90°

Pelas razões anteriormente expostas, na figura seguinte correspondente à rotação a 180° da fracção T2, não se apresentam cenários afim de evitar a concentração de envidraçados da sala na orientação Norte.

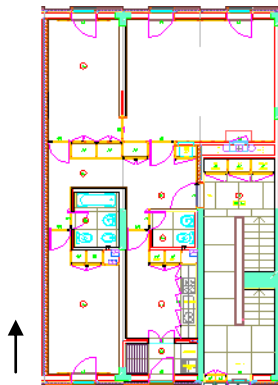


Fig. 4.7 – Planta com orientação base rodada a 180°

Ao rodar em 270° a sala em estudo, passa a ter como possibilidades na área envidraçada a Sul e Este.

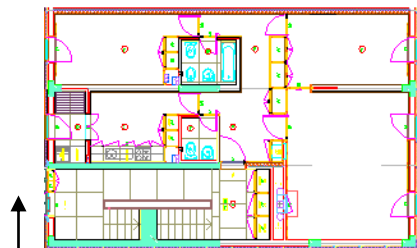


Fig. 4.8 – Planta com orientação base rodada a 270°

Neste caso procurou-se encontrar um equilíbrio no posicionamento dos envidraçados entre a orientação Sul e Este, pois a primeira poderá ter radiação solar relevante, enquanto a orientação Este possui valores mais baixo (imediatamente acima dos de Norte).

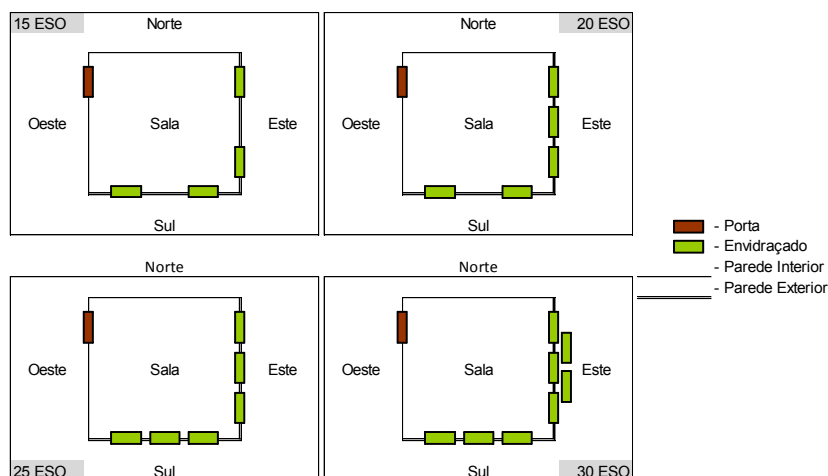


Fig. 4.9 – Representação da sala com respectivos envidraçados na rotação 270°

4.3.2.5. Factor solar do vidro

No Capítulo anterior foram analisadas duas soluções distintas para envidraçado, uma com vidro simples e outra com vidro duplo. Pelo que é perceptível nas conclusões do capítulo anterior, os valores obtidos do factor solar máximo admissível das soluções é aproximado, pelo que foi realizado um estudo preparatório para o conforto, verificando-se que as duas soluções apresentam impactos semelhantes. Dado que através de uma solução de vidro, é possível obter, pela ordem de grandeza do seu factor solar, o impacto no gráfico de flutuação de temperaturas, foi utilizado somente o vidro duplo na presente análise, de forma a não tornar o processo com uma densidade de dados excessiva e de difícil leitura.

Salienta-se que o factor solar máximo admissível obtido no Capítulo 3 traduzia-se no valor com protecção activada a 100% ($g_{\perp 100\%}$), contudo na presente análise de conforto térmico através do programa de cálculo Lesocool, é aconselhável por coerência com a realidade, a utilização do factor solar dos envidraçados (g_{\perp}) nos cálculos, ou seja, já também combinado com os 30% do factor do vidro ($g_{\perp v}$), segundo a fórmula apresentada em 2.3.2..

4.4. MODELO DE CÁLCULO AUTOMÁTICO – PROGRAMA LESOCOOL

4.4.1. INTRODUÇÃO

O programa agora utilizado constitui-se como uma ferramenta auxiliar na aferição de sensibilidade do comportamento térmico numa habitação. Tem como parâmetros fundamentais de análise os ganhos solares, a temperatura do ar e a ventilação, tendo as simulações realizadas incidido na resposta térmica através da variação da temperatura interior, perante condições de ventilação predefinidas, por consequência dos ganhos térmicos derivados da exposição dos envidraçados à radiação solar.

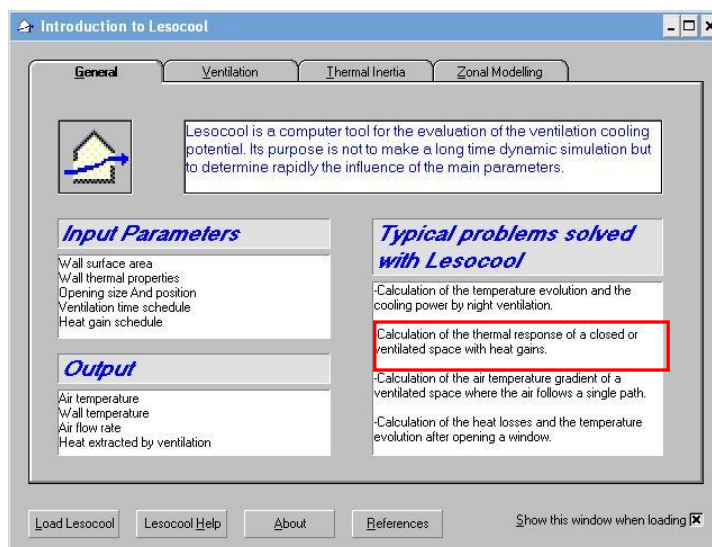


Fig. 4.10 – Janela de apresentação

De seguida far-se-á uma demonstração do programa através da apresentação dum cenário simulado.

4.4.2. CARACTERIZAÇÃO

4.4.2.1. Ventilação

O programa permite escolher distintas estratégias de ventilação no compartimento em estudo, passando de antemão pela definição do tipo de ventilação do edifício, podendo esta ser ventilação natural ou mecânica.

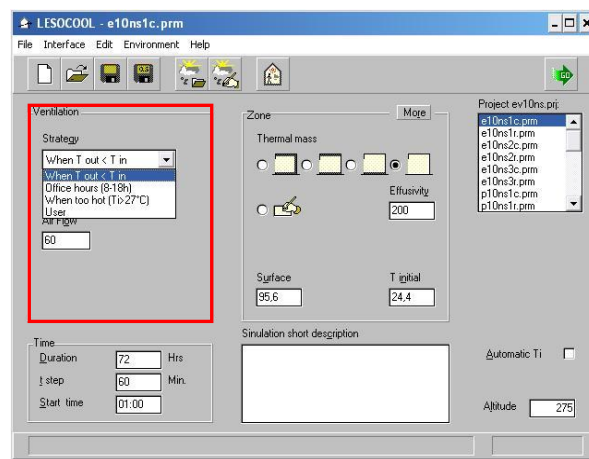


Fig. 4.11 – Estratégias de ventilação

Foram fixadas as condições base das simulações da ventilação no programa Lesocool, definindo-se como mecânica, actuando quando a temperatura exterior é inferior à temperatura interior, com um fluxo de ar equivalente a $60 \text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, aproximadamente uma renovação horária.

4.4.2.2. Tempo de duração

É possível seleccionar diversos espaços de tempo nos quais as simulações ocorrem, nomeadamente na definição da sua duração, do seu tempo base e do seu início.

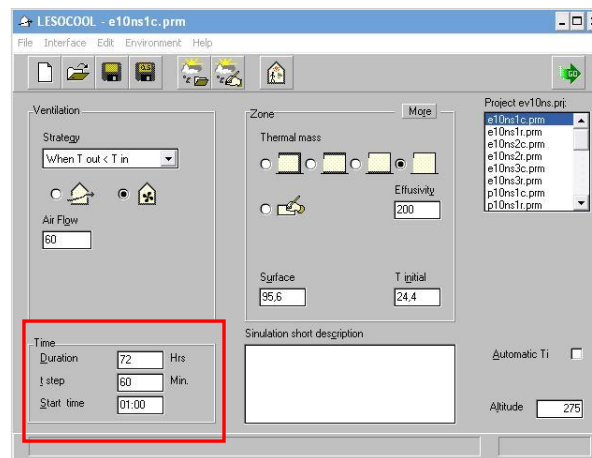


Fig. 4.12 – Duração do estudo

De forma a representar uma janela temporal que reflecta com razoabilidade a consolidação dos fluxos interiores de uma habitação, foi definido um período de três dias de simulação, dividido por hora e com início da simulação na hora um.

4.4.2.3. Inércia térmica

Esta característica foi retratada em 4.3.2.2., em que foi atribuída uma correspondência da ordem de grandeza dos valores da efusividade definidos no programa (1500, 1000, 750 e 200) com as classes de inércia térmica em vigor no RCCTE.

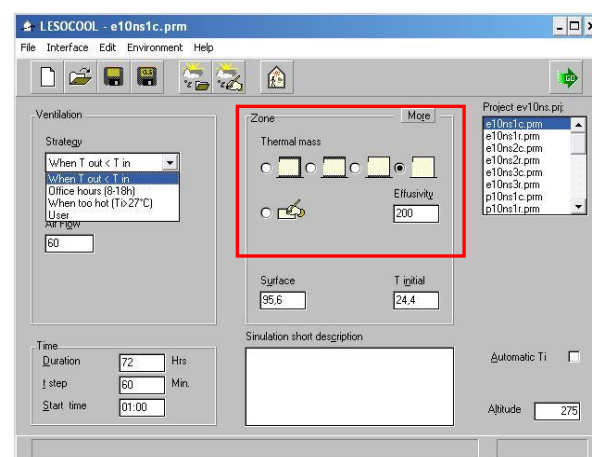


Fig. 4.13 – Classes de inércia térmica em função da efusividade

As opções existentes no programa são activadas mediante a selecção do respectivo campo, o qual, da direita para a esquerda, apresenta o decréscimo desta característica, tendo-se como exemplo a fig. 4.13, cujo campo da direita corresponderá à inércia fraca (efusividade 200).

É contudo possível introduzir um determinado valor específico de inércia térmica no campo com ícone da mão com caneta, como aconteceu com a caracterização da inércia média (efusividade 850). Para caracterizar com rigor um valor dentro da panóplia de possibilidades construtivas numa habitação, selecciona-se a opção “More”, abrindo-se uma janela que permite relacionar os diversos materiais que compõem os elementos construtivos divisórios do compartimento, com a respectiva efusividade.

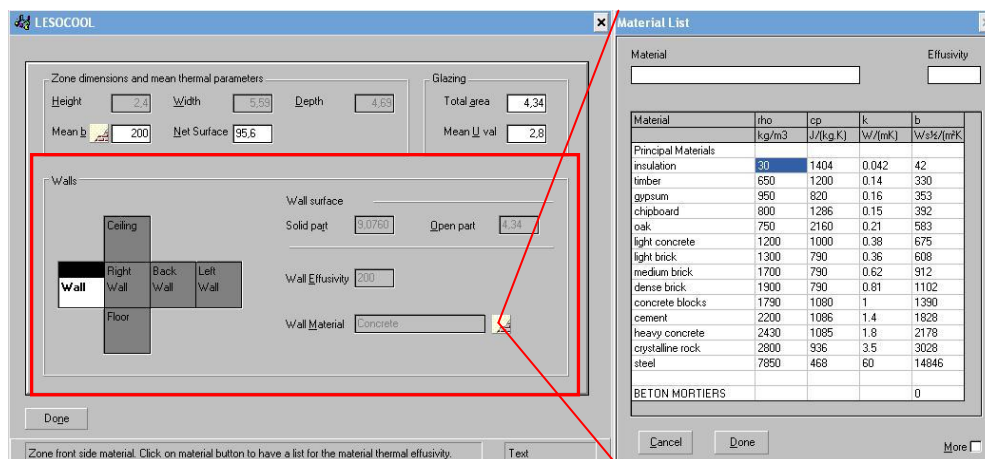


Fig. 4.14 – Soluções construtivas e respectivas efusividades

4.4.2.4. Dimensões

Através da selecção da opção “More” na janela principal do programa, também se acede à definição das dimensões do compartimento em análise, através das três dimensões de espaço (altura, largura e profundidade), as quais, visto o compartimento escolhido ser a sala, são constantes em todas os cenários idealizados. Por sua vez, a área de envidraçado (e seu respectivo coeficiente de transmissão térmica) também é seleccionada, assumindo-se como uma variável nos cenários simulados, consequentemente com repercussões na relação percentual de área de envidraçado e pavimento já indicados em 4.3.2.3.. Com esta caracterização dimensional, fica perfeitamente diferenciada a parte sólida e envidraçada que cada divisória do compartimento possui.

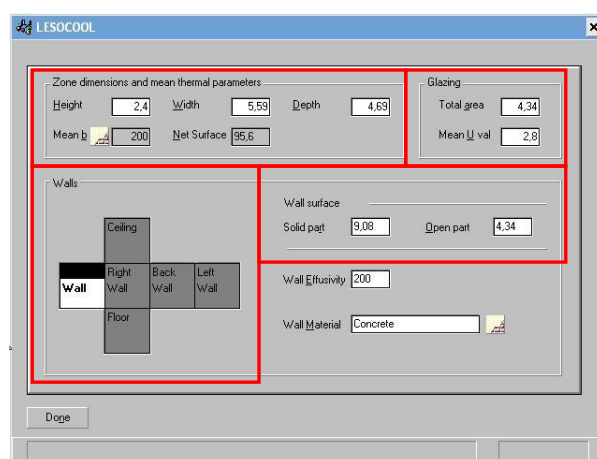


Fig. 4.15 – Dimensões do compartimento e das respectivas divisórias

4.4.2.5. Altitude

Os valores atribuídos à altitude resultam da análise desta característica topográfica nos três concelhos estudados.

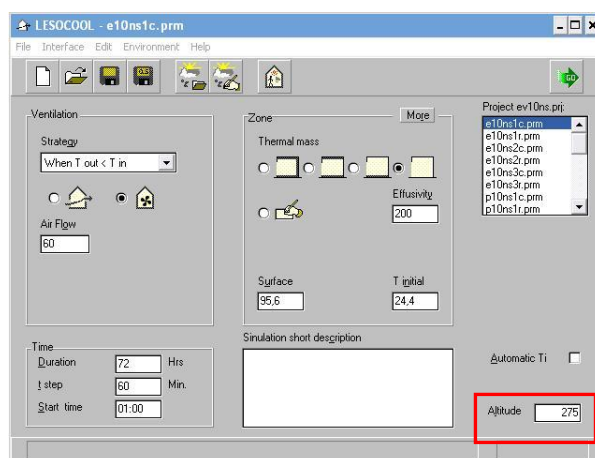


Fig. 4.16 – Altitude

Dada a extensão das zonas, optou-se por escolher valores representativos e aceitáveis de cada uma.

Quadro 4.5 – Altitude por concelho

Concelho	Altitude (m)
Maia	100
Pombal	125
Évora	275

4.4.2.6. Radiação solar e temperatura exterior

Foram utilizados valores de radiação solar e temperatura exterior de cada zona, a que estão sujeitos os envidraçados da sala no apartamento, tendo servido para o efeito a base de dados climáticos do programa de cálculo Solterm.

Dado que seria necessário a verificação da flutuação de valores de temperatura interior ao longo de vários dias, a amostra é obtida para um dos conjuntos de três dias mais quentes, em cada concelho, no período de Verão. Conforme definido em 4.3.2.1., Maia, Pombal e Évora foram os concelhos que serviram de amostra para os cenários realizados, tipificando cada uma das três zonas climáticas de Verão, apresentando-se no quadro seguinte os dados extraídos.

Quadro 4.6 – Dados de radiação solar e de temperatura exterior na Maia, Pombal e Évora

Maia						Pombal						Évora					
Radiação Solar por Orientação (W/m2)					Temp. °C	Radiação Solar por Orientação (W/m2)					Temp. °C	Radiação Solar por Orientação (W/m2)					Temp. °C
Sul	Oeste	Norte	Este			Sul	Oeste	Norte	Este			Sul	Oeste	Norte	Este		
0	0	0	0	0	16,1	0	0	0	0	0	17,4	0	0	0	0	0	19
0	0	0	0	0	15,6	0	0	0	0	0	16,8	0	0	0	0	0	18,1
0	0	0	0	0	15,1	0	0	0	0	0	16,2	0	0	0	0	0	17,2
0	0	0	0	0	14,7	0	0	0	0	0	15,6	0	0	0	0	0	16,3
0	0	0	0	0	14,2	0	0	0	0	0	15,6	0	0	0	0	0	16,3
29	29	78	167	14,4	6	45	45	50	50	16,1	6	47	47	72	88	16,8	6
67	67	159	638	15,3	7	90	90	197	547	17,3	7	97	97	190	400	18,1	7
130	99	109	752	16,8	8	129	120	157	737	19,1	8	112	112	181	756	20,1	8
272	147	147	635	18,8	9	229	136	136	765	21,3	9	167	120	120	783	22,6	9
387	148	148	631	21,1	10	339	142	142	671	23,7	10	280	133	133	663	25,4	10
478	150	150	479	23,2	11	423	142	142	489	26	11	370	158	158	480	28,1	11
527	151	151	265	25,1	12	468	140	140	257	28	12	409	153	153	284	30,5	12
530	256	139	139	26,8	13	468	257	140	140	29,6	13	403	250	135	135	32,5	13
481	482	135	135	27,7	14	423	489	142	142	30,6	14	362	480	139	139	33,5	14
386	628	149	149	28,1	15	339	671	142	142	30,9	15	293	644	152	152	33,9	15
266	726	127	127	27,7	16	229	765	136	136	30,5	16	207	687	152	152	33,2	16
125	789	103	94	26,4	17	129	737	157	120	29,2	17	114	737	184	114	31,8	17
66	660	160	66	24,7	18	90	547	197	90	27,4	18	93	481	204	93	29,7	18
29	167	78	29	22,6	19	45	50	50	45	25,1	19	45	50	50	45	27,2	19
0	0	0	0	20,8	20	0	0	0	0	22,9	20	1	1	1	1	24,7	20
0	0	0	0	19,3	21	0	0	0	0	21,2	21	0	0	0	0	22,8	21
0	0	0	0	18,2	22	0	0	0	0	20	22	0	0	0	0	21,4	22
0	0	0	0	17,3	23	0	0	0	0	19	23	0	0	0	0	20,2	23
0	0	0	0	16,7	24	0	0	0	0	18,2	24	0	0	0	0	19,3	24
0	0	0	0	16,2	1	0	0	0	0	17,9	1	0	0	0	0	18,8	1
0	0	0	0	15,7	2	0	0	0	0	17,7	2	0	0	0	0	18,2	2
0	0	0	0	15,2	3	0	0	0	0	17,5	3	0	0	0	0	17,7	3
0	0	0	0	14,8	4	0	0	0	0	17,2	4	0	0	0	0	17,2	4
0	0	0	0	14,3	5	0	0	0	0	17,2	5	1	1	1	1	17,2	5
28	28	72	152	14,5	6	44	44	49	49	17,7	6	41	41	113	200	17,7	6
65	65	157	659	15,4	7	90	90	195	546	18,9	7	86	86	198	489	18,9	7
131	98	107	750	17,1	8	129	120	155	737	20,8	8	107	107	174	742	20,9	8
265	115	115	771	19,2	9	231	136	136	765	23,2	9	177	127	127	743	23,4	9
390	140	140	643	21,5	10	342	142	142	671	25,6	10	290	150	150	630	26,1	10
483	143	143	480	23,7	11	426	142	142	489	28	11	362	144	144	475	28,7	11
534	138	138	255	25,8	12	471	140	140	257	30,1	12	406	147	147	258	31,1	12
533	259	144	144	27,5	13	471	257	140	140	31,8	13	408	267	157	157	33	13
473	471	172	172	28,6	14	426	489	142	142	32,8	14	366	474	153	153	34,1	14
387	604	160	160	29	15	342	671	142	142	33,2	15	299	608	163	163	34,4	15
269	724	127	127	28,5	16	231	765	136	136	32,7	16	197	685	143	143	33,7	16
134	734	109	100	27,2	17	129	737	155	120	31,4	17	116	675	182	116	32,4	17
65	659	157	65	25,3	18	90	546	195	90	29,5	18	75	666	227	75	30,4	18
28	31	31	28	23,1	19	44	49	49	44	27,1	19	37	405	191	37	27,9	19
0	0	0	0	21,2	20	0	0	0	0	24,8	20	1	1	1	1	25,5	20
0	0	0	0	19,7	21	0	0	0	0	23,1	21	0	0	0	0	23,6	21
0	0	0	0	18,5	22	0	0	0	0	21,7	22	0	0	0	0	22,2	22
0	0	0	0	17,6	23	0	0	0	0	20,7	23	0	0	0	0	21	23
0	0	0	0	16,9	24	0	0	0	0	19,9	24	0	0	0	0	20,2	24
0	0	0	0	16,4	1	0	0	0	0	19,4	1	0	0	0	0	20	1
0	0	0	0	15,9	2	0	0	0	0	18,8	2	0	0	0	0	19,8	2
0	0	0	0	15,4	3	0	0	0	0	18,3	3	0	0	0	0	19,5	3
0	0	0	0	14,9	4	0	0	0	0	17,8	4	0	0	0	0	19,3	4
0	0	0	0	14,4	5	0	0	0	0	17,8	5	1	1	1	1	19,3	5
30	30	33	33	14,6	6	34	34	37	37	18,2	6	27	27	128	269	19,7	6
79	79	155	529	15,4	7	77	77	164	455	19,3	7	56	56	216	706	20,6	7
148	111	120	733	16,8	8	115	105	137	674	21	8	93	93	150	600	22	8
281	129	129	766	18,6	9	222	131	131	679	23,1	9	178	128	128	500	23,7	9
405	138	138	674	20,6	10	331	150	150	604	25,3	10	258	154	154	446	25,6	10
498	139	139	492	22,5	11	412	164	164	461	27,5	11	295	176	176	333	27,5	11
548	139	139	258	24,3	12	452	180	180	288	29,4	12	368	163	163	262	29,2	12
548	258	139	139	25,7	13	455	276	168	168	30,8	13	376	254	152	152	30,5	13
498	492	139	139	26,6	14	415	478	120	120	31,8	14	327	397	162	162	31,2	14
405	674	138	138	27	15	330	615	145	145	32,1	15	262	513	144	144	31,4	15
281	766	129	129	26,6	16	220	695	128	128	31,7	16	175	343	129	129	31	16
148	733	120	111	25,5	17	95	812	120	88	30,5	17	98	496	150	98	30	17
79	529	155	79	23,9	18	83	297	142	83	28,8	18	62	519	180	62	28,6	18
29	32	21	29	22	19	31	34	34	31	26,6	19	27	257	124	27	26,9	19
0	0	0	0	20,3	20	0	0	0	0	24,6	20	1	23	12	1	25,2	20
0	0	0	0	19	21	0	0	0	0	23	21	0	0	0	0	23,9	21
0	0	0	0	18	22	0	0	0	0	21,8	22	0	0	0	0	22,8	22
0	0	0	0	17,2	23	0	0	0	0	20,9	23	0	0	0	0	22,1	23
0	0	0	0	16,6	24	0	0	0	0	20,2	24	0	0	0	0	21,4	24
				15,6						19,3						20,6	

Os valores apresentados no quadro 4.6 permitem conhecer os valores por hora da radiação total no compartimento, em função da respectiva parcela incidente nos envidraçados expostos ao sol, assim como dos valores horários da temperatura externa, importantes na aplicação do programa, conforme de seguida se exemplifica.

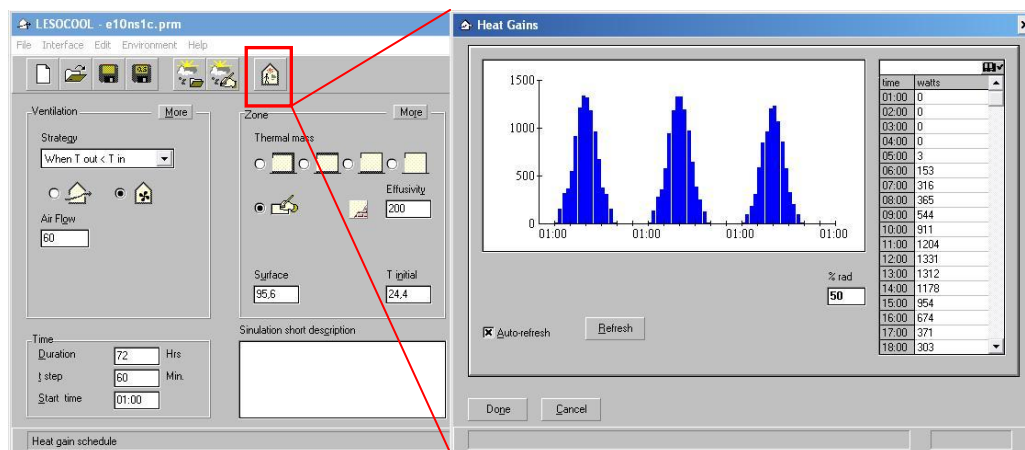


Fig. 4.17 – Ganhos solares dos envidraçados

No cabeçalho encontram-se duas opções de selecção da temperatura exterior, uma das quais por introdução manual de dados e outra por obtenção dos mesmos através de ficheiro conhecido.

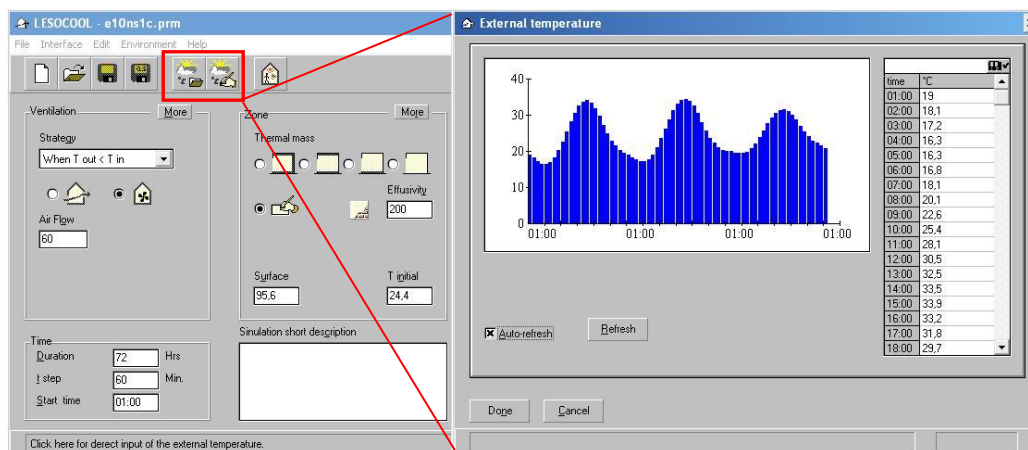


Fig. 4.18 – Temperatura exterior

A temperatura inicial foi considerada igual à média dos três dias que antecedem o início do teste.

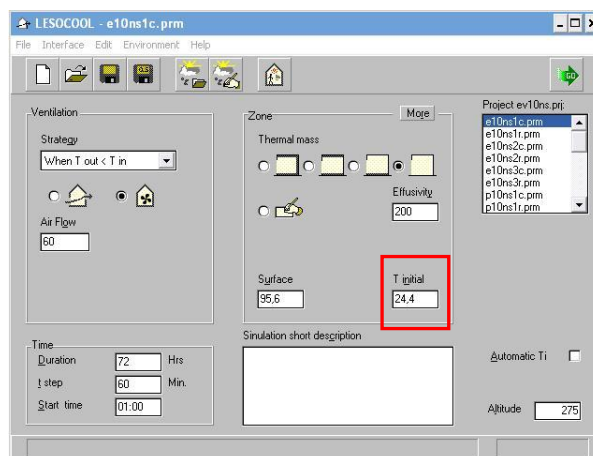


Fig. 4.19 – Temperatura inicial

4.4.2.7. Resultados

Após a conclusão da introdução dos valores das variáveis em causa na simulação pretendida, o quadro final de temperatura interior do compartimento em análise é obtido submetendo os dados através do ícone “Go”, o qual nos transportará para o gráfico pretendido.

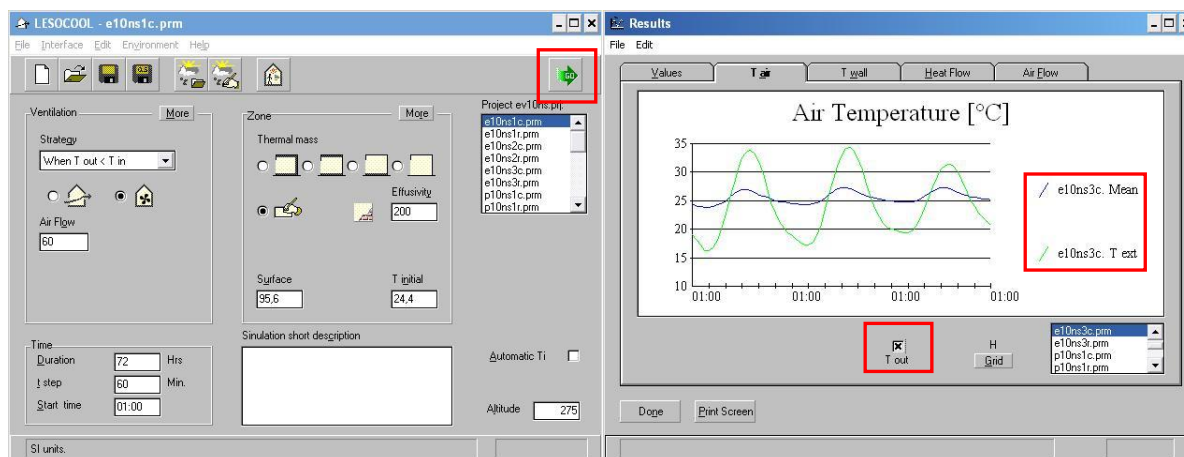


Fig. 4.20 – Fluxos de temperatura interior do ar

No exemplo da fig. 4.20 são apresentados no gráfico os valores de flutuação de temperatura ao longo dos três dias de cada estudo, em que se compara os valores de uma determinada solução com a temperatura sentida no exterior em igual período, bastando para tal sinalizar o campo “T out”, aparecendo cada curva de temperatura devidamente legendada à direita do quadro.

O programa permite comparar directamente diversos cenários, tendo estes de serem sinalizados no campo situado na zona inferior direita (onde se encontram descriminados), salientando-se que uma densa sobreposição de gráficos, poderá invalidar a correcta leitura e interpretação dos mesmos.

4.4.2.8. Modo de gravação

Na barra superior encontram-se alguns de ícones de fácil reconhecimento, os quais permitem a abertura e gravação dos cenários em conformidade com a nomenclatura adoptada, sendo possível visionar e accionar no campo à direita qual o que se pretende simular.

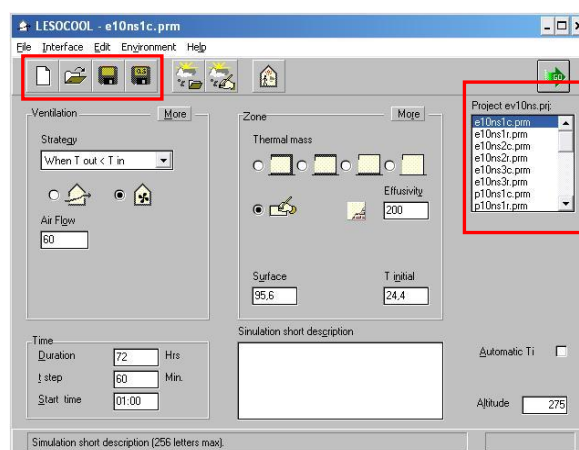


Fig. 4.21 – Ícones de abertura e de gravação

4.5. SIMULAÇÕES

4.5.1. PRESSUPOSTOS

Os factores solares utilizados no programa Lesocool para cada uma das situações estudadas foram divididos em dois grupos, por cada uma das três zonas climáticas. Num dos grupos constam os valores calculados já obtidos no Capítulo 3, os quais expressam o valor do factor máximo admissível, e noutro grupo indicam-se os valores regulamentados, que encontram-se indicados no RCCTE – Quadro IX.2. Pretende com esta divisão, compreender o impacto nas condições térmicas do compartimento, a partir dos valores máximos admissíveis do factor solar obtidos no cumprimento das necessidades de arrefecimento impostas no RCCTE (valores calculados), e também testar os valores exigidos pelo regulamento actual (valores regulamentares) na flutuação da temperatura interior.

4.5.2. CENÁRIOS

4.5.2.1. 10 NS

Os diversos cenários estudados através do programa Lesocool serão identificados, por uma questão de coerência, em conformidade com a identificação já realizada no capítulo anterior. Assim, é definida pela relação da área envidraçada relativamente ao pavimento total do apartamento, contudo, para uma fácil associação, será esquematicamente identificada a disposição da sala, com as respectivas orientações e envidraçados.

Quadro 4.7 – Cenário 10 NS

Sala - 10 NS	
Vãos Envidraçados	
Orientação	Área (m ²)
Sul	4,34
Oeste	0
Norte	0
Este	0

Esquematicamente a sala fica com a seguinte disposição.

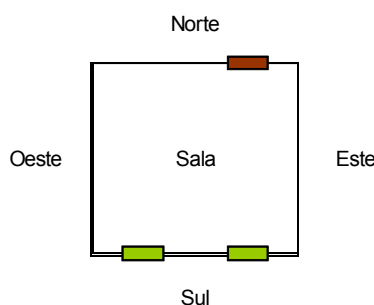


Fig. 4.22 – Representação esquemática da sala no cenário 10 NS

Os factores solares utilizados, calculados e regulamentares para a situação em análise, são os indicados no quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 10 NS

Factor Solar dos Vãos Envidraçados - Sala - 10 NS															
	Maia - V1					Pombal - V2					Évora - V3				
	Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado	
	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3
g⊥100%	0,75	0,75	0,75	0,15	0,56	0,75	0,75	0,75	0,15	0,56	0,75	0,75	0,75	0,10	0,50
g⊥	0,75	0,75	0,75	0,33	0,62	0,75	0,75	0,75	0,33	0,62	0,75	0,75	0,75	0,30	0,58

Os valores calculados para este cenário 10 NS, são superiores ao factor solar do vidro duplo (de 0,75), já apresentados em 3.4 com a designação SE (sem exigência). Desta forma, para não se considerar um factor solar do envidraçado superior ao do vidro, considerou-se o valor respeitante ao vidro duplo.

De seguida apresentam-se os três gráficos de temperatura interior do ar do compartimento sala, respeitantes a cada uma das zonas climáticas e distribuídas pelas distintas classes de inércia (Frac 1, Média 2 e Forte 3). A temperatura exterior está representada para percepção da ordem de valores.

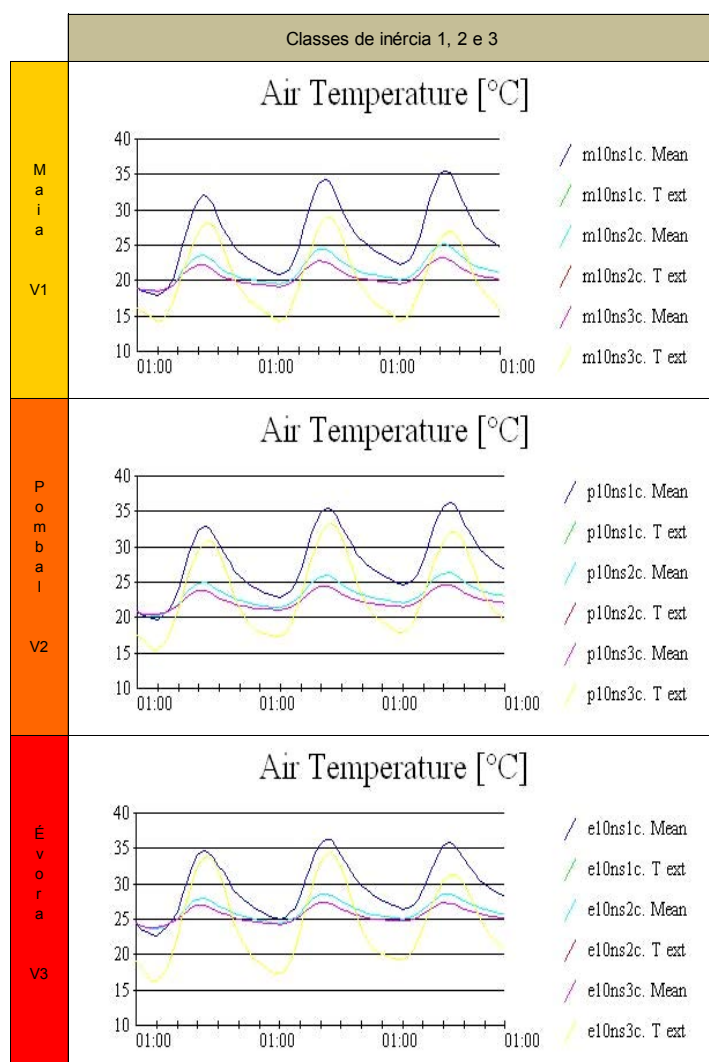


Fig. 4.23 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 10NS

À direita do gráfico encontra-se a legenda, na qual cada simulação é identificada através da sua nomenclatura e à qual é associada uma cor. A interpretação a ser feita de cada uma das simulações e seguindo o primeiro exemplo do gráfico, será:

m 10ns 1 c

- Primeira letra: referente à letra inicial de cada um dos três concelhos estudados (m – Maia, p – Pombal, e – Évora)
- Segunda parcela: correspondente ao cenário em estudo e caracterizado de igual forma ao definido no capítulo 3
- Número: identificativo da classe de inércia térmica em análise (de 1 a 3, de fraca para forte, respectivamente)
- Última letra: indicação relativa ao factor solar, podendo ser valor calculado (c) ou valor regulamentar (r), conforme quadro 4.8.

Desta forma, o exemplo apresentado no gráfico é relativo à flutuação térmica interior da sala no concelho da Maia (m), para o cenário 10 NS (10ns), na classe térmica fraca (1) e para valores calculados que se assumem como máximos admissíveis para cumprimento do regulamento (c).

Numa análise generalizada aos valores do gráfico acima exposto, surgem os seguintes comentários:

- A classe de inércia fraca tem um comportamento insatisfatório no comportamento térmico da sala, pois os valores de temperatura atingem os 35 °C, situação que ocorre em qualquer zona climática e inclusive, ultrapassando os valores de temperatura exterior
- Considerando como referência a temperatura interior de 25 °C (RCCTE) depreende-se do gráfico que quer na Maia (V1), quer em Pombal (V2), a classe de inércia média e forte apresentam temperaturas interiores que são aceitáveis. Por sua vez, em Évora (V3), nestas ditas classes de inércia atingem-se valores superiores ao pretendido, pelo que a situação revela potencial de desconforto
- Genericamente, dentro de cada zona climática a temperatura desce à medida que sobe a inércia e entre zonas climáticas, sobe quando se passa de V1 para V2 e por sua vez para V3.

Na figura seguinte apresenta-se o gráfico de variação de temperatura interior nas três zonas climáticas, por classes de inércia, comparando os valores obtidos por cálculo com os regulamentados. Desta forma poder-se-á aferir quais os valores de temperatura interior e suas flutuações, perante a imposição das exigências regulamentares, e determinar para o conforto térmico interior se esses valores são devidamente satisfatórios.

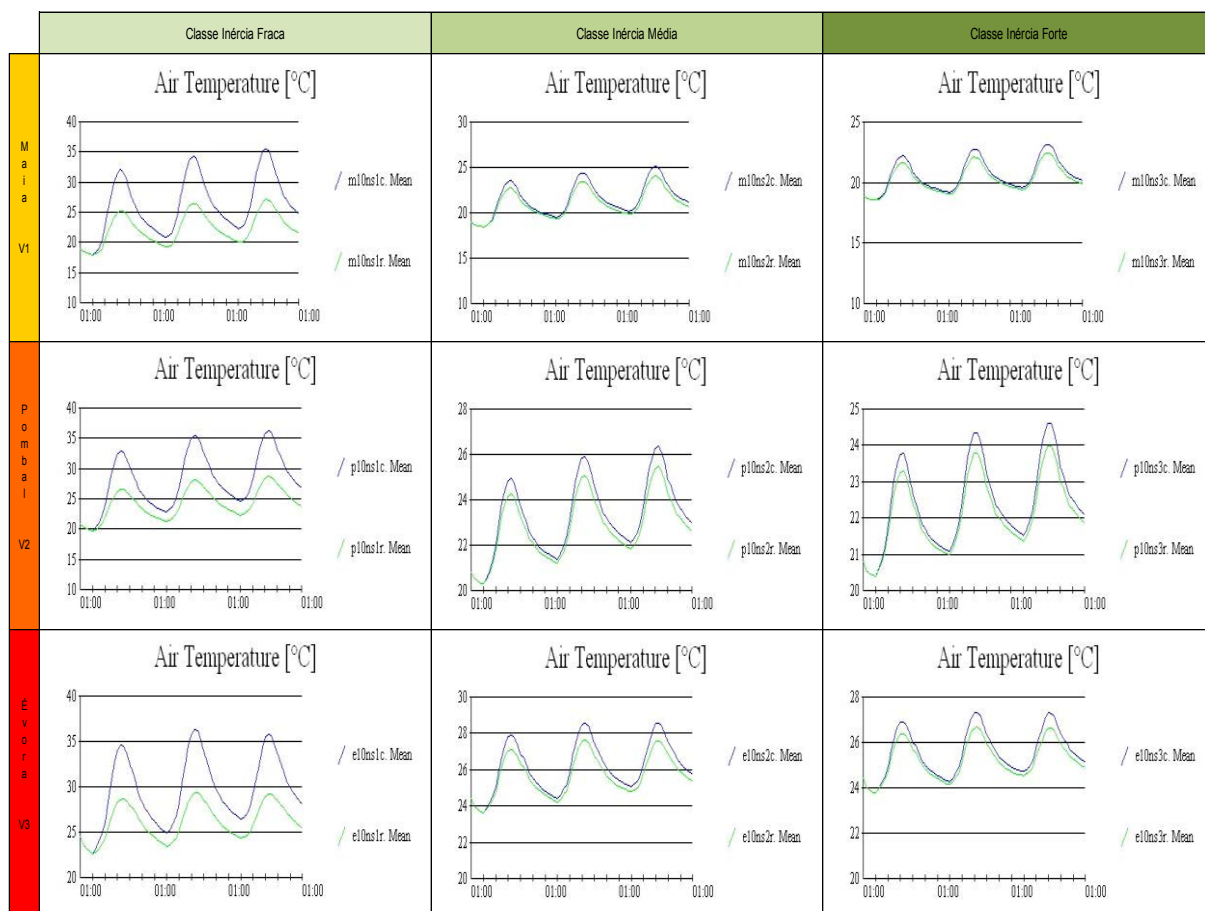


Fig. 4.24 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 10NS

Os gráficos exibidos foram dispostos por forma a permitirem a leitura na horizontal (por linhas) ou vertical (por colunas), no primeiro caso analisando o diferencial de valores devidos à inércia, em cada zona climática, enquanto no segundo caso, a implicação das zonas climáticas em cada nível de inércia.

Por observação constata-se:

- Na classe de inércia fraca e para qualquer zona climática os valores calculados são claramente superiores ao regulamentares. Apesar desse facto é de salientar que na zona V1 os valores regulamentares mantêm-se abaixo dos 25 °C, na zona V2 o valor máximo superioriza-se e a sua média rondará os valor máximo admissível, enquanto que na zona V3 o valor regulamentar do factor solar provoca um nível de temperatura constantemente acima dos 25 °C
- Verifica-se que na classe de inércia média e forte, os valores calculados apresentam flutuações praticamente coincidentes com as regulamentares, contudo somente em V1 é evidente o conforto térmico, visto que nas restantes zonas, somente em V2 com inércia forte a temperatura mantêm-se abaixo dos 25 °C.

4.5.2.2. 10 NSO

O cenário em análise representa parte das situações existentes nos actuais imóveis, com envidraçados em duas frentes, sem uma área por demais elevada.

Quadro 4.9 – Cenário 10 NSO

Sala - 10 NSO	
Vãos Envidraçados	
Orientação	Área (m2)
Sul	2,17
Oeste	2,17
Norte	0
Este	0

Esquemáticamente a sala fica com a seguinte disposição.

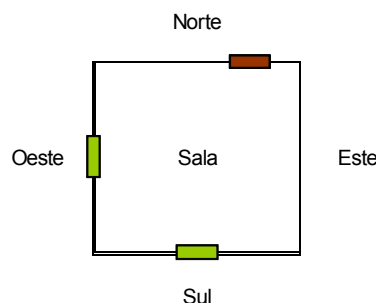


Fig. 4.25 – Representação esquemática da sala no cenário 10 NSO

Os factores solares utilizados, calculados e regulamentares para a situação em análise, são os indicados no quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 10 NSO

Factor Solar dos Vãos Envidraçados - Sala - 10 NSO															
	Maia - V1					Pombal - V2					Évora - V3				
	Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado	
	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3
$g_{\perp 100\%}$	0,75	0,75	0,75	0,15	0,56	0,75	0,75	0,75	0,15	0,56	0,75	0,75	0,75	0,10	0,50
g_{\perp}	0,75	0,75	0,75	0,33	0,62	0,75	0,75	0,75	0,33	0,62	0,75	0,75	0,75	0,30	0,58

De seguida apresentam-se os três gráficos de temperatura interior do ar do compartimento sala, respeitantes a cada uma das zonas climáticas e distribuídas pelas distintas classes de inércia (Frac 1, Média 2 e Forte 3). A temperatura exterior está representada para percepção da ordem de valores.

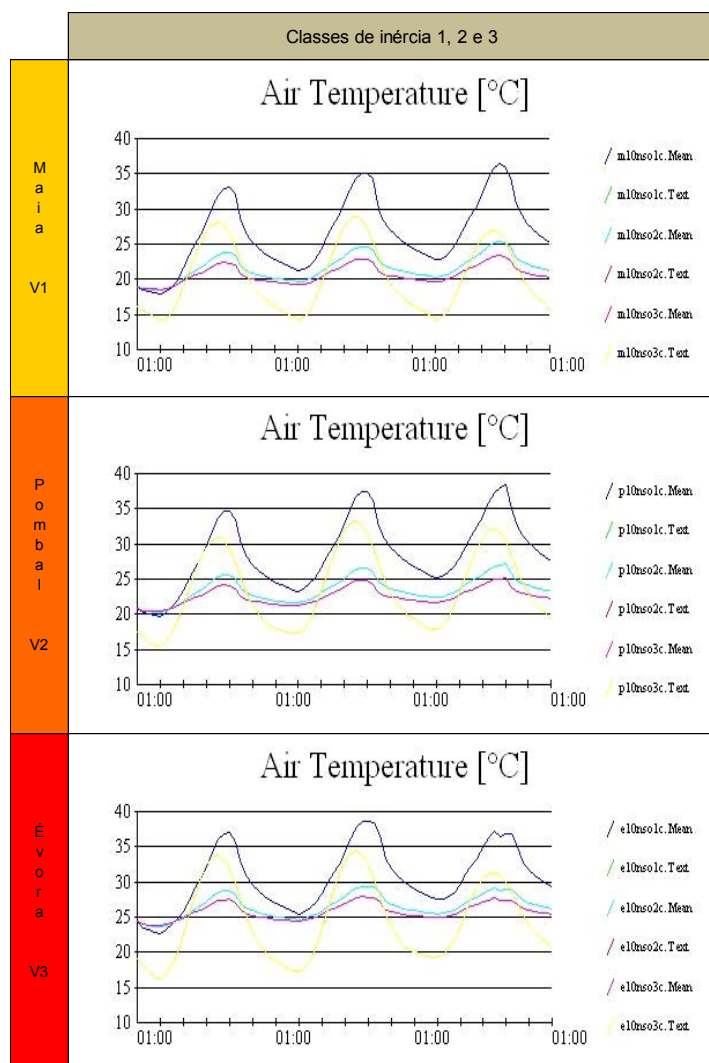


Fig. 4.26 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 10NSO

Perante o gráfico acima exposto, surgem os seguintes comentários:

- A classe de inércia fraca tem um comportamento insatisfatório no comportamento térmico da sala, pois os valores de temperatura atingem os 35 °C a 40 °C, situação que ocorre em qualquer zona climática e inclusive, ultrapassando os valores de temperatura exterior
- Considerando como referência a temperatura interior de 25 °C (RCCTE) depreende-se do gráfico que na Maia (V1) e em Pombal (V2), a classe de inércia média e forte apresentam temperaturas interiores que são aceitáveis, salvaguardando-se as situações pontuais em Pombal na inércia média, em que o valor de pico diário ultrapassa os 25 °C. Por sua vez, em Évora (V3), nestas ditas classes de inércia atingem-se valores superiores ao pretendido, pelo que a situação revela potencial de desconforto
- Genericamente, dentro de cada zona climática a temperatura desce à medida que sobe a inércia e entre zonas climáticas, sobe quando se passa de V1 para V2 e por sua vez para V3.

Na figura seguinte apresenta-se o gráfico de variação de temperatura interior nas três zonas climáticas, por classes de inércia, comparando os valores obtidos por cálculo com os regulamentados.

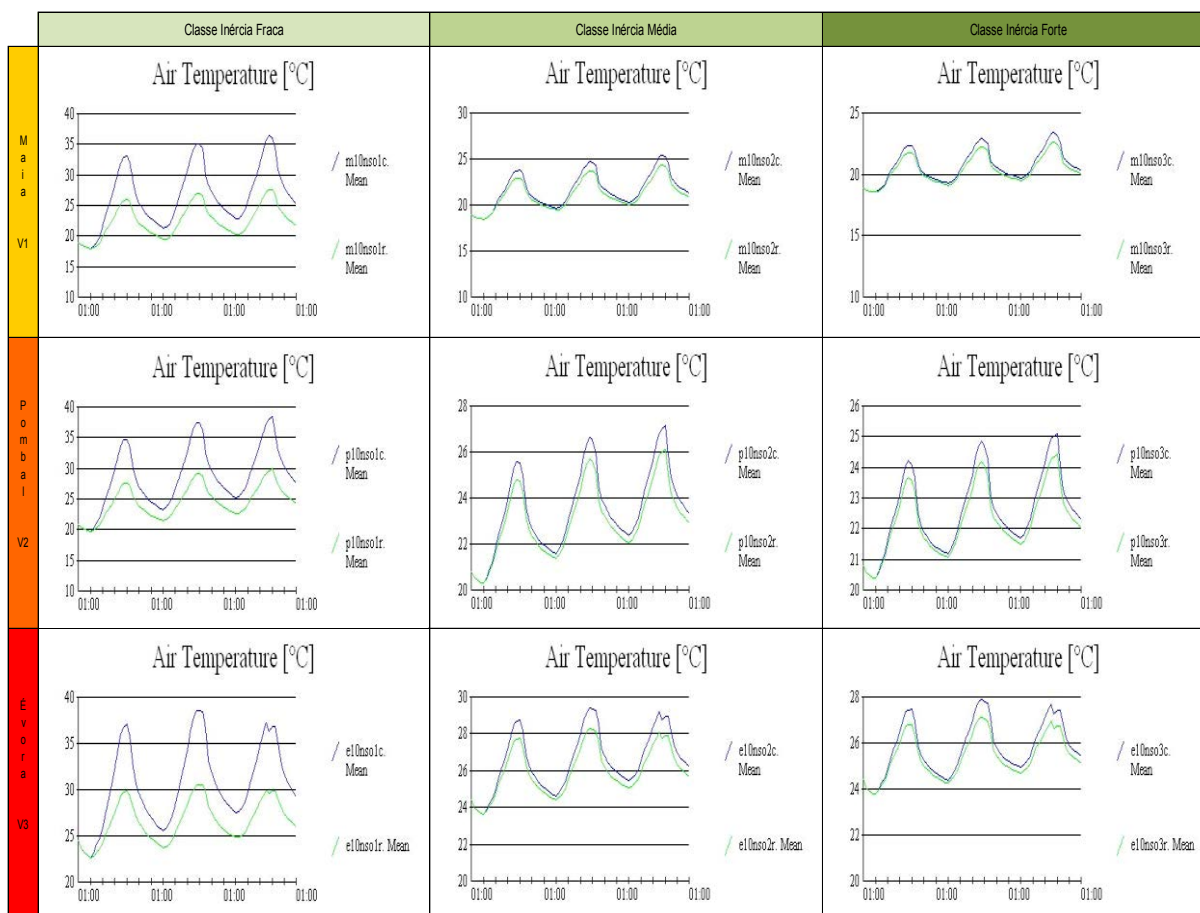


Fig. 4.27 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 10NSO

Por observação constata-se:

- Na classe de inércia fraca e para qualquer zona climática os valores calculados são claramente superiores ao regulamentares. Apesar desse facto é de salientar que na zona V1 os valores regulamentares mantêm-se predominantemente abaixo dos 25 °C, na zona V2 o valor máximo superioriza-se e a sua média rondará os valor máximo admissível, enquanto que na zona V3 o valor regulamentar do factor solar provoca um nível de temperatura constante acima dos 25 °C
- Verifica-se que na classe de inércia média e forte, os valores calculados apresentam flutuações praticamente coincidentes com as regulamentares, contudo somente em V1 é evidente o conforto térmico, visto que nas restantes zonas, somente em V2 com inércia forte a temperatura mantêm-se abaixo dos 25 °C.

4.5.2.3. 20 SO

O cenário em análise pretende representar imóveis, com envidraçados em duas frentes, neste caso já com uma área relevante relativamente à do pavimento.

Quadro 4.11 – Cenário 20 SO

Sala - 20 SO	
Vãos Envidraçados	
Orientação	Área (m2)
Sul	6,51
Oeste	6,51
Norte	0
Este	0

Esquemáticamente a sala fica com a seguinte disposição.

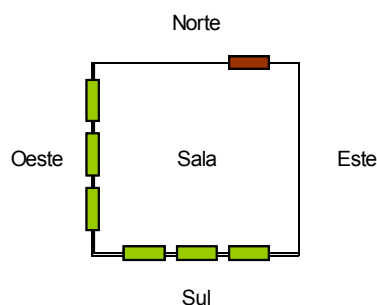


Fig. 4.28 – Representação esquemática da sala no cenário 20 SO

Os factores solares utilizados, calculados e regulamentares para a situação em análise, são os indicados no quadro 4.12.

Quadro 4.12 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 20 SO

Factor Solar dos Vãos Envidraçados - Sala - 20 SO															
	Maia - V1					Pombal - V2					Évora - V3				
	Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado	
	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3
g _L -100%	0,36	0,47	0,59	0,15	0,56	0,39	0,49	0,59	0,15	0,56	0,52	0,54	0,54	0,10	0,50
g _L	0,48	0,55	0,64	0,33	0,62	0,50	0,57	0,64	0,33	0,62	0,59	0,60	0,60	0,30	0,58

De seguida apresentam-se os três gráficos de temperatura interior do ar do compartimento sala, respeitantes a cada uma das zonas climáticas e distribuídas pelas distintas classes de inércia (Frac 1, Média 2 e Forte 3). A temperatura exterior está representada para percepção da ordem de valores.

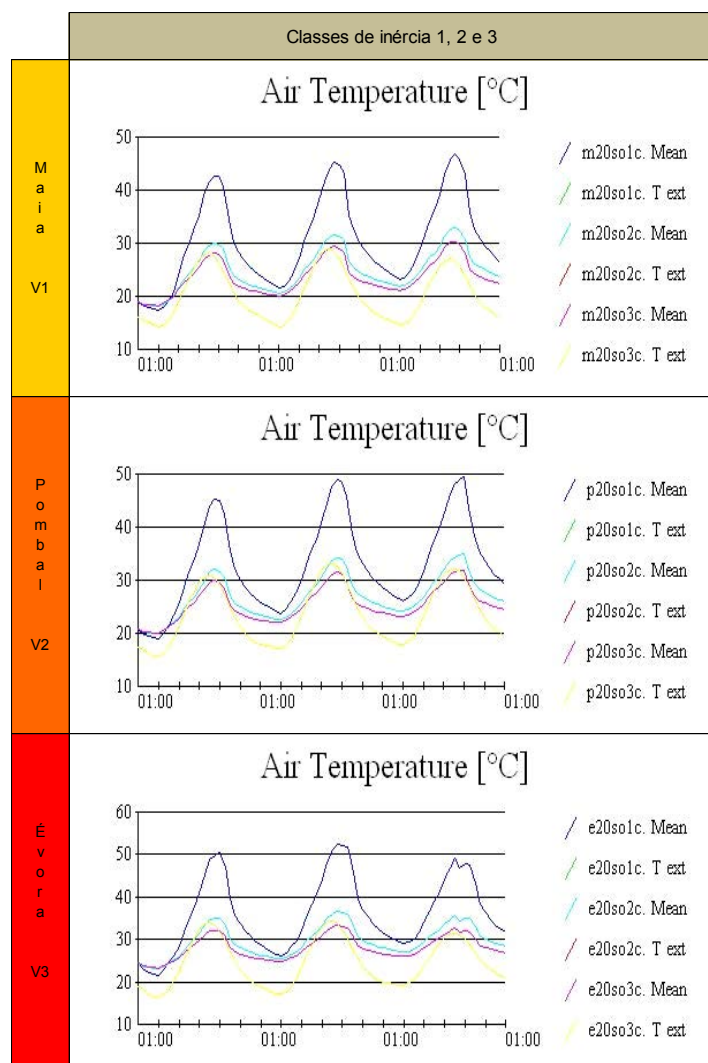


Fig. 4.29 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 20SO

Perante o gráfico acima exposto, surgem os seguintes comentários:

- A classe de inércia fraca tem um comportamento insatisfatório no comportamento térmico da sala, pois os valores de temperatura atingem os 40 °C a 50 °C, situação que ocorre em qualquer zona climática e inclusive, ultrapassando os valores de temperatura exterior
- Considerando como referência a temperatura interior de 25 °C (RCCTE) depreende-se do gráfico que na Maia (V1), a classe de inércia média e forte apresentam temperaturas interiores cuja média será próxima dos 25 °C mas com picos próximos dos 30 °C. Em Pombal (V2) e em Évora (V3), nestas ditas classes de inércia atingem-se valores superiores ao pretendido, pelo que a situação é claramente reveladora de desconforto
- Genericamente, dentro de cada zona climática a temperatura desce à medida que sobe a inércia e entre zonas climáticas, sobe quando se passa de V1 para V2 e por sua vez para V3.

Na figura seguinte apresenta-se o gráfico de variação de temperatura interior nas três zonas climáticas, por classes de inércia, comparando os valores obtidos por cálculo com os regulamentados.

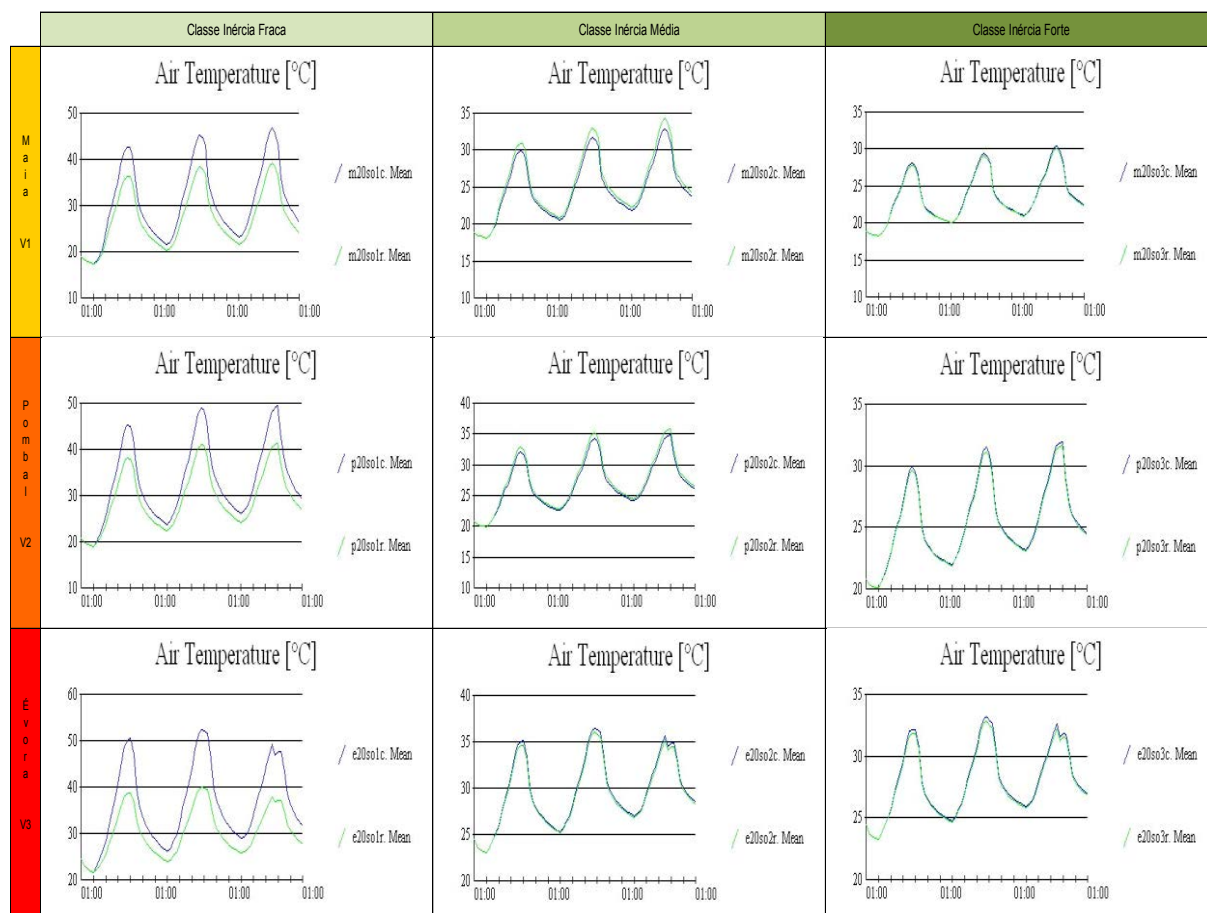


Fig. 4.30 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 20SO

Por observação constata-se:

- Na classe de inércia fraca e para qualquer zona climática os valores calculados são claramente superiores ao regulamentares, não existindo nenhuma situação que seja confortável ao nível térmico pois mantêm-se predominantemente acima dos 25 °C
- Para as classes média e forte e para qualquer zona climática, os valores calculados são coincidentes com os regulamentares, embora com valores acima dos desejáveis 25 °C.

4.5.2.4. 30 NSO

O cenário em análise pretende representar imóveis, com envidraçados em duas frentes, neste caso já com uma área muito significativa relativamente à do pavimento.

Quadro 4.13 – Cenário 30 NSO

Sala - 30 NSO	
Vãos Envidraçados	
Orientação	Área (m2)
Sul	10,85
Oeste	6,51
Norte	0
Este	0

Esquemáticamente a sala fica com a seguinte disposição.

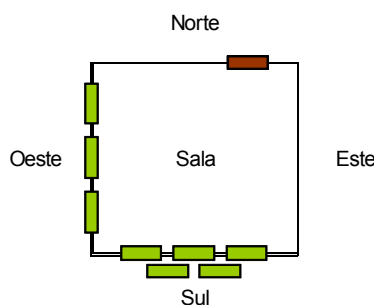


Fig. 4.31 – Representação esquemática da sala no cenário 30 NSO

Os factores solares utilizados, calculados e regulamentares para a situação em análise, são os indicados no quadro 4.14.

Quadro 4.14 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 30 NSO

Factor Solar dos Vãos Envidraçados - Sala - 30 NSO															
	Maia - V1					Pombal - V2					Évora - V3				
	Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado	
	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3
$g_{\perp 100\%}$	0,25	0,35	0,45	0,15	0,56	0,28	0,37	0,46	0,15	0,56	0,35	0,36	0,37	0,10	0,50
g_{\perp}	0,40	0,47	0,54	0,33	0,62	0,42	0,48	0,55	0,33	0,62	0,47	0,48	0,48	0,30	0,58

De seguida apresentam-se os três gráficos de temperatura interior do ar do compartimento sala, respeitantes a cada uma das zonas climáticas e distribuídas pelas distintas classes de inércia (Frac 1, Média 2 e Forte 3). A temperatura exterior está representada para percepção da ordem de valores.

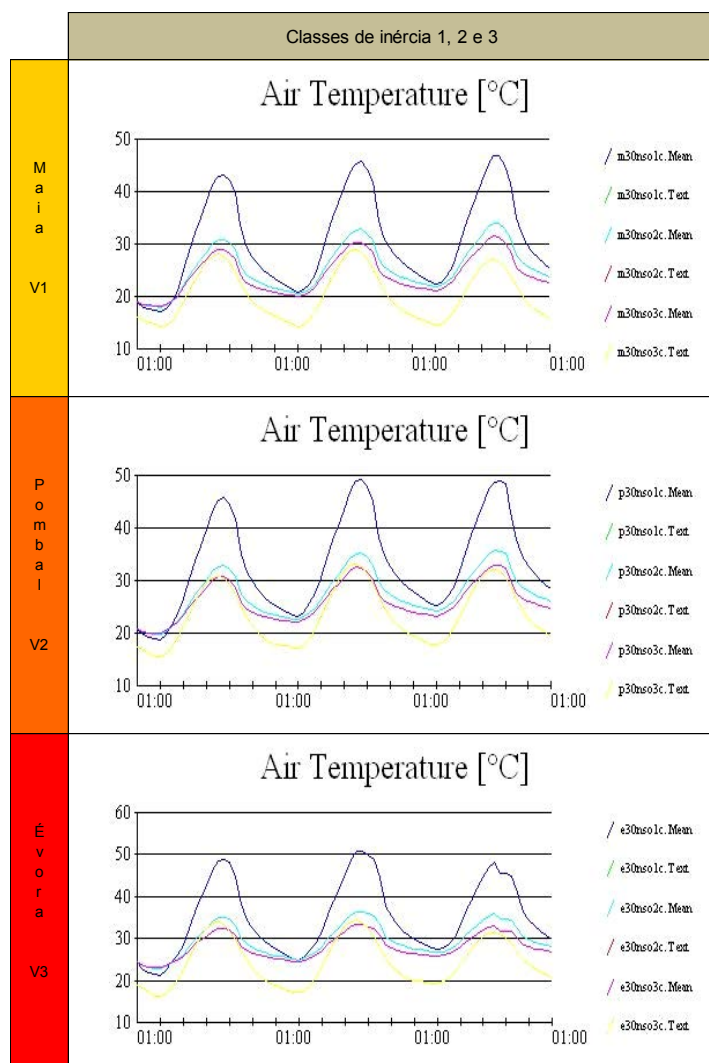


Fig. 4.32 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 30NSO

Perante o gráfico acima exposto, surgem os seguintes comentários:

- Todas as classes e zonas apresentam valores superiores aos necessários para assegurar bom nível de conforto térmico, genericamente com temperaturas já consideradas muito elevadas.

Na figura seguinte apresenta-se o gráfico de variação de temperatura interior nas três zonas climáticas, por classes de inércia, comparando os valores obtidos por cálculo com os regulamentados.

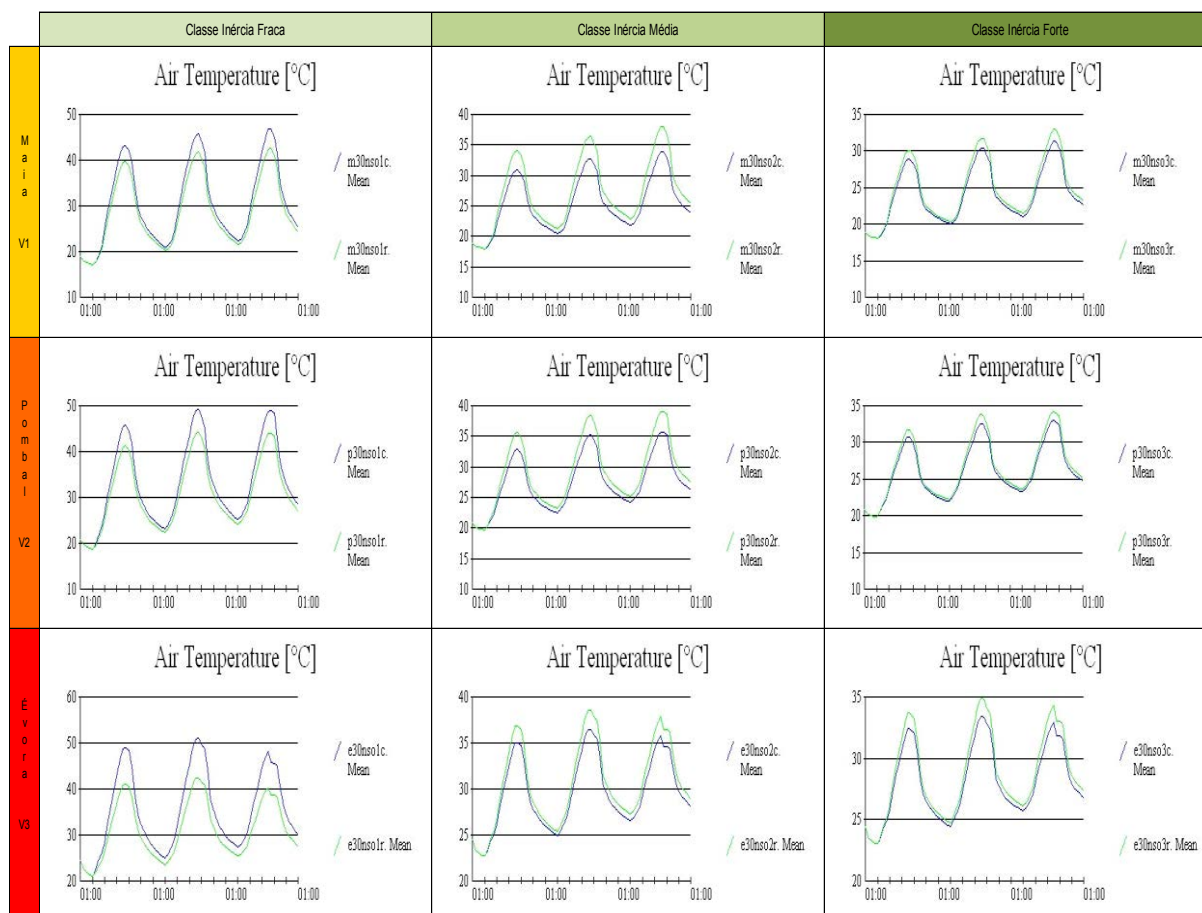


Fig. 4.33 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 30NSO

Por observação constata-se:

- Na classe de inércia fraca e para qualquer zona climática os valores calculados são ainda superiores aos regulamentares, não existindo nenhuma situação que seja confortável ao nível térmico pois mantêm-se predominantemente acima dos 25 °C
- Para as classes média e forte e para qualquer zona climática, verifica-se uma alteração relativamente aos cenários antes apresentados, visto que os valores calculados passam a ser inferiores aos regulamentares, embora ainda com valores acima dos desejáveis 25 °C.

4.5.2.5. 30 ESO

O cenário em análise pretende representar imóveis, com envidraçados em duas frentes, neste caso já com uma área muito significativa relativamente à do pavimento.

Quadro 4.15 – Cenário 30 ESO

Sala - 30 ESO	
Vãos Envidraçados	
Orientação	Área (m2)
Sul	6,51
Oeste	0
Norte	0
Este	10,85

Esquematicamente a sala fica com a seguinte disposição.

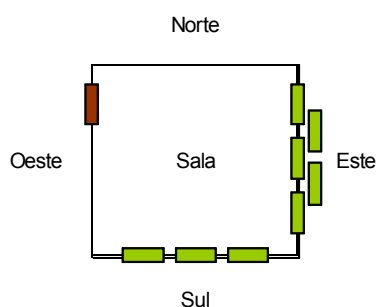


Fig. 4.34 – Representação esquemática da sala no cenário 30 ESO

Os factores solares utilizados, calculados e regulamentares para a situação em análise, são os indicados no quadro 4.16.

Quadro 4.16 – Factores solares calculados vs regulamentados, por zona climática, no cenário 30 ESO

Factor Solar dos Vãos Envidraçados - Sala - 30 ESO															
	Maia - V1					Pombal - V2					Évora - V3				
	Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado		Calculado			Regulamentado	
	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3	I1	I2	I3	I1	I2 / I3
g _L -100%	0,15	0,24	0,32	0,15	0,56	0,18	0,25	0,33	0,15	0,56	0,22	0,23	0,24	0,10	0,50
g _L	0,33	0,39	0,45	0,33	0,62	0,35	0,40	0,46	0,33	0,62	0,38	0,39	0,39	0,30	0,58

De seguida apresentam-se os três gráficos de temperatura interior do ar do compartimento sala, respeitantes a cada uma das zonas climáticas e distribuídas pelas distintas classes de inércia (Frac 1, Média 2 e Forte 3). A temperatura exterior está representada para percepção da ordem de valores.

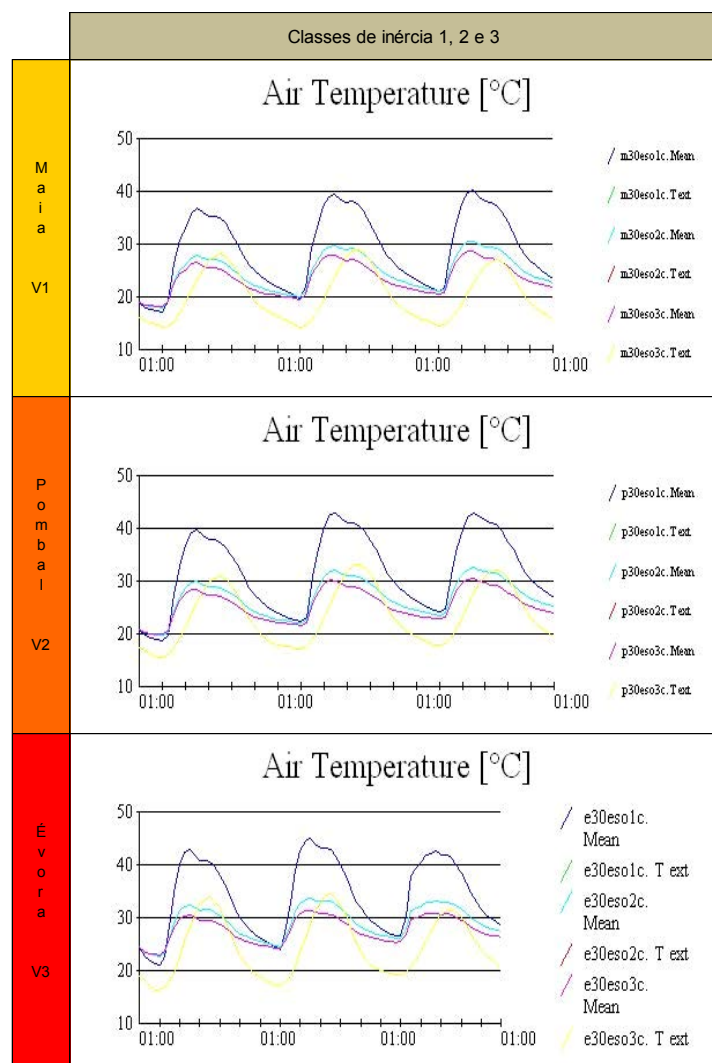


Fig. 4.35 – Temperatura interior com factores solares calculados em V1, V2, V3, por classe de inércia em 30ESO

Por observação da figura acima exposta verifica-se que:

- Todas as classes e zonas apresentam valores superiores aos necessários para assegurar bom nível de conforto térmico, genericamente com temperaturas já consideradas muito elevadas, na qual poder-se-á somente fazer uma chamada de atenção à zona da Maia (V1), pois na classe de inércia forte apresenta temperaturas interiores cuja média rondará dos 25 °C, mas com valores máximos próximos dos 30 °C.

Na figura seguinte apresenta-se o gráfico de variação de temperatura interior nas três zonas climáticas, por classes de inércia, comparando os valores obtidos por cálculo com os regulamentados.

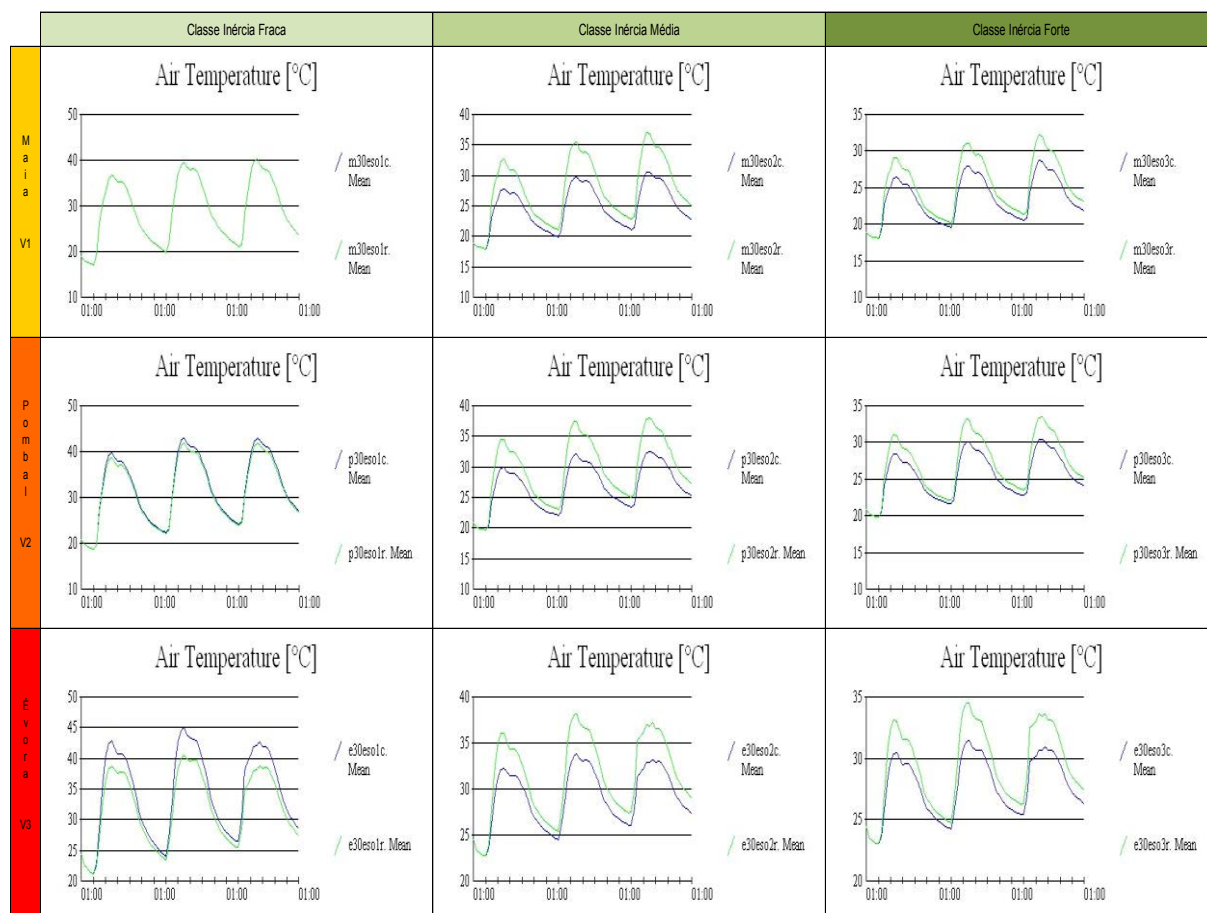


Fig. 4.36 – Temperatura interior com factores solares calculados vs regulamentares no cenário 30ESO

Na análise à fig. 4.36, por semelhança ao que já se constatou no cenário 30 NSO, verifica-se que todas as classes e zonas representadas por concelhos apresentam valores superiores aos necessários para assegurar bom nível de conforto térmico, contudo com a alteração já constatada anteriormente, em que os valores calculados são inferiores aos regulamentares nas classes de inércia média e forte. Nota-se também uma clara aproximação de valores na classe de inércia fraca, sentindo-se até que já são coincidentes para algumas zonas.

4.6. NOTAS FINAIS

Constata-se que nas relações percentualmente mais baixas de envidraçados/pavimento, os valores de temperatura interior são mais baixos nos valores regulamentados e ainda aceitáveis. À medida que a percentagem vai subindo, a flutuação de temperatura respeitante aos valores calculados aproximava-se da das temperaturas interiores dos valores impostos no regulamento, já com valores absolutos altos. Nas relações de percentagens de 20% e 30%, a flutuação de temperatura realiza-se em valores elevados para o desejado conforto térmico, ressalvando-se que os valores de cálculo ficam tendencialmente abaixo dos regulamentares.

5

CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese teve como foco o factor solar dos vãos envidraçados, pretendendo-se com este estudo avaliar a sua relevância no desempenho dos edifícios na estação de Verão. Foram realizadas duas abordagens distintas para o efeito, constando a primeira da definição de valores do factor solar que cumprissem a verificação regulamentar das necessidades de arrefecimento segundo o RCCTE, enquanto a segunda visava compreender o impacto dos valores encontrados no conforto térmico interior da habitação.

Desta forma, a sequência de trabalho incidiu inicialmente em reconhecer os parâmetros nucleares de influência no comportamento térmico dum edifício, cujas combinações entre os mesmos, originaram diversos cenários possíveis duma qualquer habitação existente. Seguiu-se então a determinação do valor máximo admissível para o factor solar, para as diversas simulações realizadas, que verificasse o cumprimento das imposições do actual regulamento.

Após a conclusão desta primeira fase, pretendeu-se complementar a informação com a verificação dos factores solares já calculados no contributo do conforto térmico da habitação. No fundo, pretendeu-se perceber se a verificação das imposições do regulamento são condição, por si só, de garantia dos níveis de conforto dum espaço interior. Para o efeito, e por coerência com o trabalho entretanto desenvolvido, seleccionou-se como compartimento a estudar a sala da habitação analisada no capítulo anterior, utilizando-se para tal o programa de cálculo Lesocool, de forma a reconhecer os valores de temperatura interior directamente associados ao nível de satisfação térmico.

Desta confrontação de verificação regulamentar vs verificação de conforto pode-se concluir que as imposições necessárias para o cumprimento do RCCTE não constituem condição única para salvaguardar as necessárias condições térmicas do interior da habitação.

Foi perceptível ao longo do desenvolvimento do estudo que determinados ambientes que resultariam numa aprovação regulamentar, quando testados no programa de cálculo Lesocool, atingiam valores de desconforto no interior do compartimento sala, devido às flutuações das temperaturas elevadas no espaço temporal definido de três dias. Esta situação era tanto mais gravosa, quanto mais elevada fosse a percentagem de envidraçados, embora se pudesse constatar em relações mais baixas de área de envidraçados face à área de pavimento, que existiam alguns casos em que a temperatura era superior ao valor que serve de referência no RCCTE e balizamento na análise, que é a temperatura de 25 °C.

Na realização do presente trabalho, esteve sempre presente a necessidade de perceber a ordem de grandeza dos valores, quer a nível absoluto, quer a nível comparativo, pelo que o impacto no conforto térmico dos valores máximos admissíveis do factor solar, calculados na primeira fase, foi confrontado

com o mesmo tipo de influência que os respectivos valores impostos pelo RCCTE originam em igual situação de aplicação, e que são indicados no quadro IX.2, divididos e relacionados por zona climática e classe de inércia.

Quadro 5.1 – Factores solares máximos admissíveis do Quadro IX.2 do RCCTE

Classe de Inércia Térmica	Zona Climática		
	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,15	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Na análise destes dois tipos de valores máximos admissíveis (calculados vs regulamentados) foi evidente que nas percentagens mais baixas na relação envidraçados/pavimento, os valores de temperatura interior eram mais baixos nos valores regulamentados, contudo, à medida que a percentagem ia subindo, a flutuação de temperatura respeitante ao valor calculado aproximava-se das temperaturas interiores dos valores impostos pelo actual regulamento. Efectivamente esta situação originou que nas percentagens mais elevadas testadas, o gráfico de temperatura do compartimento dos valores calculados fosse claramente inferior ao do derivado dos valores do regulamento. Tornou-se claro que a percentagem envidraçado/pavimento de 10%, que poderá ir até próximo dos 15%, apresentava um padrão de comportamento térmico de alguma forma controlado perante a temperatura interior de 25 °C. De 15% a 20% a situação já sofria um evidente agravamento, com prejuízo para o conforto térmico e após este intervalo de relação envidraçado/pavimento, os valores médios e máximo assumem-se claramente como elevados, e como tal, para além do desejável.

Perante esta constatação que os valores de factor solar máximo admissível calculados originavam valores de temperatura interior mais defensivos que os impostos pelo regulamento, tornou-se necessário apresentar um novo quadro de valores, que esteja em consonância com a realidade percebida pelo estudo agora desenvolvido. Esta proposta torna-se tão mais necessária, dada a evidência do nível de desconforto espelhado pelo gráfico de temperatura respeitante aos valores impostos pelo regulamento, em que a temperatura média e máxima era evidentemente superior a 25 °C em diversos cenários testados.

Desta forma, apresenta-se de seguida, para envidraçados com área de envidraçado superior em 5% à área de pavimento, não orientados a norte, o seguinte quadro de valores de factores solares máximos admissíveis correspondentes a envidraçados com dispositivo de protecção 100% activo.

Note-se, no entanto, que os valores sugeridos no quadro 5.2 resultam da adopção, em todos os cenários estudados, de uma taxa de renovação horária do ar igual a 1. A sua extrapolação para outras situações de ventilação deverá ser convenientemente avaliada.

Quadro 5.2 – Proposta de factores solares máximos admissíveis (taxa unitária de renovação horária do ar)

Aenv/Apav < 15%			
Factor Solar	Zona Climática		
Classe de Inércia Térmica	V1	V2	V3
Fraca	0,10	0,05	0,05
Média	0,56	0,40	0,30
Forte	0,56	0,40	0,30
15% ≤ Aenv/Apav < 20%			
Factor Solar	Zona Climática		
Classe de Inércia Térmica	V1	V2	V3
Fraca	0,05	0,05	0,05
Média	0,15	0,10	0,10
Forte	0,15	0,10	0,10
Aenv/Apav ≥ 20%			
Factor Solar	Zona Climática		
Classe de Inércia Térmica	V1	V2	V3
Fraca	0,05	0,05	0,05
Média	0,05	0,05	0,05
Forte	0,05	0,05	0,05

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O projecto agora desenvolvido visava o estudo de sensibilidade para o factor solar no desempenho energético de edifícios no Verão, com preocupação para a qualidade térmica do interior da habitação, contudo tornou-se claro ao longo do estudo, o que é confirmado pelo quadro proposto de ajuste dos factores solares máximos admissíveis nas orientações que não estejam a norte, que é importante conjugar o conhecimento adquirido, com um estudo combinado de ventilação. Recorda-se que os cenários de avaliação de conforto térmico no programa de cálculo utilizado, tinha como pressuposto a ventilação com equivalente a uma renovação horária do ar, tentando-se com isso simular a deficiente ventilação a que as habitações poderão eventualmente estar sujeitas no período de Verão.

Seria interessante e relevante, em futuros desenvolvimentos, estudar as possibilidades de conjugação dos factores solares máximos admissíveis com as distintas possibilidades de ventilação, definindo-se, como tal, condições óptimas de verificação regulamentar e conforto térmico da habitação.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Directiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios*. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, 04/01/2003, 65-71.
- [2] Gonçalves, Helder, *Eficiência Energética nos Edifícios*, 09/02/2010, <http://energia2020.fc.ul.pt/energia2020/apresentacoes/Helder%20Goncalves.pdf>, 01/07/2012.
- [3] Aelenei, Daniel, *RCCTE Light*, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Fevereiro de 2008.
- [4] Saint-Gobain Glass, *Manual do Vidro*, 2008.
- [5] Moret Rodrigues, A., Canha Piedade, A., Marta Braga, A., *Térmica de Edifícios*, Orion, Amadora, 2009.
- [6] Deleme Janelas, *Guia Térmico*, http://www.deleme.pt/admin/ficheiros/guia_termico.pdf, 20/06/2012.
- [7] Caixiave, *Eficiência Energética – Informação Técnica*, http://www.caixiave.pt/download/Catalogo_Eficiencia_energetica_PT.pdf, 15/07/2012.
- [8] *Decreto-Lei n.º 80/2006 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Diário República – I Série-A, n.º 67, 04/04/2006, 2468-2512.
- [9] <http://www.google.pt>, 19/05/2012.
- [10] Gonçalves, Helder, Mariz Graça, João, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal Eficiência Energética nos Edifícios*, INETI, Lisboa, 2004.

Anexo

CASO DE ESTUDO –E20 NSO

Évora - I1V3 - U 2,8

Folha de Cálculo FCIV.1a

Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
PE1 - Norte	1,95	0,58	1,13
PE1 - Oeste	5,28	0,58	3,06
PE1 - Sul	10,29	0,58	5,97
PE2 - Norte	0,35	0,76	0,27
PE2 - Oeste	1,66	0,76	1,26
PE2 - Sul	1,08	0,76	0,82
			0,00
TOTAL			12,51

Pavimentos Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Paredes e pavimentos em contacto com o solo	Perímetro B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			0,00
Fachada com os pavimentos	15,80	0,55	8,69
Fachada com pavimentos intermédios	15,80	0,10	1,58
Fachada com cobertura inclinada ou terraço			0,00
Fachada com varanda			0,00
Duas paredes verticais	2,4	0,15	0,36
Fachada com caixa de estore			0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	64,60	0,00	0,00
Outras			0,00
TOTAL			10,63

Perdas pela envolvente exterior
da Fracção Autónoma

(W/°C) **TOTAL** 23,14

Folha de Cálculo FCIV.1b
Perdas associadas à Envoltente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
PS1 - Parede entre a FA e lavandaria	6,99	0,85	0,6	3,56
PS2 - Parede entre a FA e cx de escadas	11,95	1,06	0,6	7,60
PS3 - Parede entre a FA e o acesso	2,33	0,50	0,6	0,70
PS1 - Parede entre a FA e o armário	6,66	1,30	0,6	5,19
Pte - Porta de entrada	2,30	3,25	0,6	4,49
				0,00
				0,00
TOTAL				21,54

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Pav1 - Pavimento sobre a garagem	85,06	0,7	0,7	41,68
				0,00
				0,00
TOTAL				41,68

Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Área (m²)	U (W/m².°C)	τ (-)	τ.U.A (W/°C)
Pti - Porta da lavandaria	2,33	4,30	0,6	6,01
				0,00
				0,00
TOTAL				6,01

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ>0,7)	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	τ (-)	τ.ψ.B (W/°C)
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
				0,00
TOTAL				0,00

Perdas pela envoltente interior da Fracção Autónoma

(W/°C)

TOTAL	69,23
--------------	--------------

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:

Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;

Edifícios anexos;

Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;

Sotãos não-habitados.

Folha de Cálculo FCIV.1c
Perdas Associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² .°C)	U.A (W/°C)
Verticais:			0,00
Env - Norte	4,34	2,8	12,15
Env - Sul	8,68	2,8	24,30
Env - Oeste	4,34	2,8	12,15
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
Horizontais:			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			48,61

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		85,06	(m ²)
Pé-direito médio		2,4	(m)
		=	
Volume interior (V)		204,14	(m ³)

VENTILAÇÃO NATURAL (Quadro a considerar sempre que o único dispositivo de ventilação mecânica existente seja o exaustor da cozinha)

Cumprir a NP 1037-1? (S ou N) se SIM: RPH = 0,6

Se NÃO:

Classe da Caixilharia (s/c, 1, 2 ou 3)	<input type="text"/>	Taxa de Renovação Nominal: Ver Quadro IV.1 RPH = <input type="text"/>
Caixas de Estore (S ou N)	<input type="text"/>	
Classe de Exposição (1, 2, 3 ou 4)	<input type="text"/>	
<small>(Ver Quadro IV.2)</small>		
Aberturas Auto-reguladas? (S ou N)	<input type="text"/>	
Área de envidraçados > 15% Ap? (S ou N)	<input type="text"/>	
Portas Exteriores bem vedadas? (S ou N)	<input type="text"/>	

VENTILAÇÃO MECÂNICA (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de Insuflação Vins - (m ³ /h)	<input type="text"/> 0	Vf = <input type="text"/> 200,00
Caudal Extraído Vev - (m ³ /h)	<input type="text"/> 200	
Diferença entre Vins e Vev (m ³ /h)	<input type="text"/> 200,00	V = <input type="text"/> 0,979701 (volume int) RPH (**)
Infiltrações <small>(Vent. Natural)</small> Vx - (h ⁻¹)	<input type="text"/> 0	
Recuperador de calor (S ou N)	<input type="text"/> N	se SIM, η = <input type="text"/> se NÃO, η = <input type="text"/> 0
Taxa de Renovação Nominal (mínimo: 0,6)	<input type="text"/> 0,980	(Vf / V + Vx)
Consumo de Electricidade para os ventiladores	<input type="text"/> 504	(Ev = Pvx24x0,03xM(kWh))

Volume	<input type="text"/> 204,14	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	<input type="text"/> 0,980	
	x	
	<input type="text"/> 0,34	
	x	
	1 (1-η)	
	=	
TOTAL	<input type="text"/> 68,00	(W/°C)

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de orientação X (-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs (-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m²)
Env 1 - Norte	Duplo	4,34	0,27	0,75	0,9	0,65	0,9	0,46
Env 2 - Sul	Duplo	4,34	1,00	0,75	0,9	0,65	0,9	1,71
Env 3 - Sul	Duplo	2,17	1,00	0,75	0,9	0,65	0,9	0,86
Env 4 - Sul	Duplo	2,17	1,00	0,75	0,9	0,65	0,9	0,86
Pti - Norte	Simples	2,33	0,27	0,85	0	0,65	0,9	0,00
Env 5 - Oeste	Duplo	2,17	0,56	0,75	0,9	0,65	0,9	0,48
Env 6 - Oeste	Duplo	2,17	0,56	0,75	0,9	0,65	0,9	0,48
								0,00
								0,00
								0,00

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)

4,85

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul)

na zona 11 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m².mês)

108

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)

5,7

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

2985,62

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (Quadro IV.3)	4	(W/m²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento	5,70	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	85,06	(m²)
	x	
	0,72	
	=	
Ganhos Internos Brutos	1396,34	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)}}$$

4381,96

6971,66

Inércia do edifício: 3
(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)

a = 4,2

 $\gamma = 0,63$

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos

(η)

0,94

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos

4381,96

=

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)

4127,72

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m ²
Paredes exteriores		20,61
Coberturas exteriores		
Pavimentos exteriores		
Envidraçados exteriores		17,36
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A . τ)	
Paredes interiores		18,14
Coberturas interiores		
Pavimentos interiores		59,54
Envidraçados interiores		1,4
Área total:		117,05
		/
Volume (de FCIV.1d):		204,14
		=
FF		0,57

Graus-dias no local (°C.dia) (do Quadro III.1) 1390

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	Para FF < 0,5	Auxiliar 59,405
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD	Para 0,5 < FF < 1	63,178
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)	Para 1 < FF < 1,5	68,569
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	Para FF > 1,5	99,752

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano) 63,18

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	23,14
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	69,23
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	48,61
Renovação de Ar (de FCIV.1d)	68,00
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	208,98
	x
Graus-dias no Local (°C.dia)	1390,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	6971,66
	+
Consumo de Electricidade para os ventiladores ($E_v = P_v \times 24 \times 0,03 \times M$ (kWh))	504
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4127,72
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	3347,94
	/
Área Útil de Pavimento (m ²)	85,06
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m ² .ano)	39,36
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m ² .ano)	63,18

Verifica O.K.

Nic/Ni = 62,30%

Folha de cálculo FCV.1a
Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	12,51	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	0,00	(W/°C)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	48,61	(W/°C)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	68,00	(W/°C)
		=	
Perdas específicas totais	(Q1a)	129,12	(W/°C)

Temperatura interior de referência		25	(°C)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)		23	(°C)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		2	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	129,12	(W/°C)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q1b)	756,12	(kWh)

Folha de Cálculo FC V.1b

Perdas associadas a Coberturas e Envidraçados Exteriores (Verão)

Perdas associadas às coberturas exteriores

Coberturas exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			0,00

Perdas associadas aos envidraçados exteriores

Envidraçados Exteriores	Área (m ²)	U (W/m ² °C)	U.A (W/°C)
Env - Norte	4,34	2,8	12,15
Env - Sul	8,68	2,8	24,30
Env - Oeste	4,34	2,8	12,15
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			48,61

Folha de Cálculo FC V.1c
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura)

Orientação	PE1 - Norte	PE2 - Norte	PE1 - Oeste	PE2 - Oeste	PE1 - Sul	PE2 - Sul
Área, A (m ²)	1,95	0,35	5,28	1,66	10,29	1,08		
	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m ² °C)	0,58	0,76	0,58	0,76	0,58	0,76		
	x	x	x	x	x	x	x	x
Coefficiente de absorção, α (Quadro V.5)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8		
	=	=	=	=	=	=	=	=
α.U.A (W/°C)	0,90	0,21	2,45	1,01	4,77	0,66	0,00	0,00
	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	210	210	460	460	400	400		
	x	x	x	x	x	x	x	x
	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior	7,60	1,79	45,08	18,57	76,39	10,51	0,00	0,00
								TOTAL
								159,94 (kWh)

Folha de Cálculo FC V.1d
Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	Env - Norte	Env - Sul	Env - Oeste
Área, A (m ²)	4,34	8,68	4,34					
	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor solar do vão envidraçado (protecção solar activada a 70%)	0,69	0,69	0,69					
	x	x	x	x	x	x	x	x
Fracção envidraçada, Fg (Quadro IV.5)	0,65	0,65	0,65					
	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de obstrução, Fs	0,9	0,9	0,9					
	x	x	x	x	x	x	x	x
Factor de selectividade do vidro, Fw (Quadro V.3)	0,8	0,75	0,85					
	=	=	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, Ae	1,40	2,62	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	x	x	x	x	x	x	x	x
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²) (Quadro III.9)	210	400	460					
	=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	293,93	1049,73	684,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
								TOTAL
								2027,74
								(KWh)

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos Internos

Ganhos Internos médios (W/m ²) (Quadro IV.3)	<input type="text" value="4"/>	
	x	
Área Útil de Pavimento (m2)	<input type="text" value="85,06"/>	
	x	
	2,93	
	=	
Ganhos internos Totais	<input type="text" value="996,22"/>	(KWh)

Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos Totais na estação de arrefecimento (verão)

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	<input type="text" value="2027,74"/>	(KWh)
	+	
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	<input type="text" value="159,94"/>	(KWh)
	+	
Ganhos internos (FCV.1e)	<input type="text" value="996,22"/>	(KWh)
	=	
Ganhos Térmicos Totais	<input type="text" value="3183,89"/>	(KWh)

Folha de cálculo FCV.1g
Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	<input type="text" value="3183,89"/>	(kWh)
	/	
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)	<input type="text" value="756,12"/>	(kWh)
	=	
Relação Ganhos-Perdas γ	<input type="text" value="4,21"/>	
Inércia do edifício (In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)	<input type="text" value="3"/>	

	<input type="text" value="1"/>	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η (Gráfico IV.1)	<input type="text" value="0,24"/>	
	=	
	<input type="text" value="0,76"/>	19
	x	
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	<input type="text" value="3183,89"/>	(kWh)
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	<input type="text" value="2429,16"/>	(kWh/ano)
	+	
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	<input type="text" value="292,80"/>	(Ev=Pvx24x0,122(kWh))
	=	
TOTAL	<input type="text" value="2721,96"/>	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	<input type="text" value="85,06"/>	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	<input type="text" value="32,00"/>	(kWh/m².ano)
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv (Nº2 do Artigo 15º)	<input type="text" value="32"/>	(kWh/m².ano)